

**Consulenza tecnica conferita  
dal Tribunale ordinario di Milano**

**IX Sezione Penale**

**Argomento: incidente occorso nella camera iperbarica “verde”  
dell’Istituto Ortopedico Galeazzi il 31 ottobre 1997**

Prof. Ing. Marco Knaflitz  
Prof. Ing. Massimo Morbidelli  
Ing. Giuseppe Mulè  
Dott. Adelmo Ottino

Ottobre 2001

# Indice

	<b>Introduzione</b> .....	3
<b>1.</b>	<b>Riferimenti normativi</b> .....	5
1.1	Impianto normativo attuale .....	5
1.2	Norme di riferimento .....	5
<b>2.</b>	<b>Descrizione di una camera iperbarica multiposto</b> .....	6
2.1	Struttura .....	6
2.2	Impianti .....	7
2.2.1	Distribuzione dell'ossigeno e raccolta dei gas espirati .....	8
2.2.2	Misurazioni della percentuale in volume di ossigeno .....	8
2.2.3	Condizionamento e controllo dell'umidità .....	9
2.2.4	Comunicazione con l'esterno .....	10
2.2.5	Illuminazione .....	10
2.2.6	Impianto elettrico .....	10
2.2.7	Impianto antincendio .....	10
<b>3.</b>	<b>Reale situazione della camera iperbarica "verde"</b> .....	12
3.1.1	Distribuzione dell'ossigeno e raccolta dei gas espirati .....	12
3.1.2	Misurazioni della percentuale in volume di ossigeno .....	16
3.1.3	Condizionamento e controllo dell'umidità .....	21
3.1.4	Comunicazione con l'esterno .....	22
3.1.5	Illuminazione .....	22
3.1.6	Impianto elettrico .....	24
3.1.7	Impianto antincendio .....	24
<b>4.</b>	<b>Misure di prevenzione tecniche, organizzative e procedurali</b> .....	31
4.1	La valutazione dei rischi .....	33
4.1.1	L'analisi e valutazione dei rischi nella strategia di prevenzione ... ..	33
4.1.2	Sviluppo del processo di individuazione dei pericoli e valutazione dei rischi .....	37
4.1.3	Gli elementi di un incidente .....	42
4.1.4	Approcci allo studio dei pericoli, analisi e valutazione dei rischi .....	42
4.1.5	I metodi e le tecniche di analisi .....	45
4.1.6	Conclusioni circa il processo di analisi dei rischi relativo alla camera verde .....	46
4.1.7	Studio esemplificativo del pericolo di incendio .....	46
4.2	Conseguenze del rispetto della normativa prevenzionale precedente il 626/94 .....	49
4.3	L'individuazione delle misure prevenzionali .....	50
4.4	Misure di prevenzione .....	51
4.4.1	Prevenzione degli incendi .....	52
4.5	L'informazione .....	53
4.5.1	Informazione ai dipendenti .....	53
4.5.2	Informazione ai pazienti .....	54
4.6	La formazione .....	55
4.6.1	La formazione sanitaria (considerazioni generali) .....	55
4.6.2	Formazione del personale .....	56
4.6.3	Formazione dei pazienti .....	57
4.6.4	Formazione degli addetti operanti all'esterno della camera iperbarica .....	57
4.7	Considerazioni generali sui criteri di formazione .....	57
<b>5.</b>	<b>Modalità di sviluppo, intensità e durata dell'incendio</b> .....	57
5.1	Ignizione dell'incendio .....	57
5.2	Sviluppo dell'incendio .....	58
<b>6.</b>	<b>Possibile influenza dell'impianto antincendio sugli esiti dell'incidente</b> .....	61
<b>7.</b>	<b>Risposte sintetiche ai quesiti</b> .....	62

## Introduzione

Il collegio della IX Sezione Penale del Tribunale Ordinario di Milano, nell'udienza del 12 gennaio 2001, nominò gli scriventi consulenti tecnici di ufficio in relazione all'incidente occorso presso la camera iperbarica verde dell'Istituto Ortopedico Galeazzi il giorno 31 ottobre 1997, dando loro incarico di accertare e dire:

1. Qual era la reale situazione della camera iperbarica c.d. "verde" al momento dell'incidente fornendo una dettagliata descrizione delle condizioni di funzionamento della stessa e quale, a loro giudizio, fosse l'efficacia ed adeguatezza dei presidi di sicurezza e degli apparecchi di cui la stessa risultava dotata;
2. Quali erano le misure di prevenzione tecniche, organizzative e procedurali da adottare alla stregua dei più avanzati criteri di sicurezza concretamente attuabili in strutture consimili a livello sia nazionale sia internazionale;
3. Quali, con giudizio di elevata o di maggiore probabilità, siano state le cause dell'incendio verificatosi all'interno della camera iperbarica precisando le modalità di sviluppo, di intensità e di durata dello stesso;
4. Se la presenza dell'acqua nell'impianto antincendio avrebbe potuto influire sulle cause, lo sviluppo, la diffusione e la durata dell'incendio in questione, evitando il verificarsi degli eventi mortali.

Per dare risposta ai quesiti formulati, i consulenti dovevano procedere all'esame degli atti acquisiti e, in particolare, dei reperti fotografici, delle rilevazioni in sede di primo sopralluogo e nel corso delle successive visite, dei filmati e delle riprese televisive effettuate subito dopo i fatti, nonché delle consulenze tecniche già espletate. Per dare risposta all'ultimo quesito, i consulenti avrebbero potuto, se lo avessero ritenuto necessario, ricorrere ad apposito esperimento o simulazione.

Come indicato nel corso dell'udienza di comparizione del 12 gennaio, con dichiarazione inserita nel processo verbale dell'udienza, le operazioni peritali hanno avuto inizio il 26 gennaio 2001 presso l'ufficio del Presidente del collegio giudicante.

Le date delle successive operazioni peritali da effettuare con sopralluoghi sono state comunicate alle parti. I sopralluoghi sono stati effettuati il 17 maggio 2001 ed il 13 settembre 2001. In data 11 giugno 2001 si è svolta una riunione del collegio peritale con le parti, nel corso della quale si sono confrontate le rispettive opinioni relative alle modalità di svolgimento dell'incidente e si è convenuto di effettuare il secondo sopralluogo, al fine di verificare in dettaglio le caratteristiche fisiche dell'impianto di spegnimento riportate nello schema di impianto allegato e descritte nel seguito (cfr. 3.1.7).

Nel corso del sopralluogo del 13 settembre 2001 sono state rilevate le caratteristiche fisiche dell'impianto di spegnimento. Nel corso dello stesso sopralluogo, su indicazione dell'avvocato Trombini, è stato inoltre verificato che le pareti della camera iperbarica non sono e non erano al momento dell'incidente coibentate e che la parete metallica del corpo cilindrico trasmette all'esterno, in modo netto e chiaro, i suoni prodotti bussando su di essa con le nocche delle dita. Su indicazione dello stesso avvocato si è chiesto al direttore tecnico della clinica Galeazzi di fornire la pianta dei locali. A seguito dei sopralluoghi e della riunione citata, le parti e i loro difensori non hanno prodotto altra

documentazione, fatto rilievi o avanzato richieste di mettere a verbale annotazioni, indicazioni, o riserve.

In relazione alla possibilità di effettuare esperimenti o simulazioni, gli scriventi non hanno ritenuto di dover procedere in quanto, alla luce dell'analisi della documentazione e dei rilievi effettuati, ritengono di essere in grado di fornire risposte precise ed attendibili ai quesiti posti senza bisogno di effettuare accertamenti sperimentali.

In particolare gli scriventi ritengono che: a) le cause che hanno concorso a rendere possibile l'innesco siano state individuate in modo certo; b) la stima della massima percentuale in volume di ossigeno presente all'interno della camera iperbarica al momento dell'incidente possa avvenire per via numerica mediante utilizzo di un semplice modello compartimentale ad un unico compartimento; c) ai fini di spiegare la dinamica degli avvenimenti occorsi all'interno della camera iperbarica dopo che avvenne l'innesco, ogni possibile simulazione sperimentale non possa fornire informazioni attendibili, a causa della mancanza pressoché totale della conoscenza delle condizioni iniziali ed al contorno del fenomeno; d) ai fini di individuare le potenzialità dell'impianto antincendio, i rilievi delle caratteristiche fisiche e dimensionali dello stesso siano assolutamente sufficienti; e) data l'evoluzione ritenuta più probabile dell'incidente e le potenzialità dell'impianto antincendio, risulti possibile prevedere, con ottimi margini di sicurezza, l'effetto che l'attivazione dell'impianto antincendio avrebbe avuto sulle conseguenze ultime dell'incidente.

## 1. Riferimenti normativi

Le camere iperbariche sono dispositivi medici e come tali oggi sono soggetti alla direttiva CEE 93/42 (D.L. 46/97). Ai sensi di detta direttiva le camere iperbariche sono dispositivi medici di classe IIb e pertanto sono soggette all'obbligo di marcatura CE previa certificazione CE rilasciata da un ente notificato. Tale obbligo vale per le camere iperbariche costruite dopo l'entrata in vigore della direttiva citata e quindi non si applica alla camera iperbarica nella quale avvenne l'incidente di cui è causa, che entrò in servizio nel 1991.

### 1.1 Impianto normativo attuale

Sebbene non applicabile alla camera iperbarica oggetto di questa perizia, un breve cenno alla direttiva *dispositivi medici* è utile al fine di illustrare l'impostazione normativa attuale.

La direttiva *dispositivi medici* è estremamente generica, dovendo essere applicata ad una classe estremamente ampia di dispositivi (dalla siringa sterile in materiale plastico ad apparecchi estremamente complessi, quali, ad esempio, una risonanza magnetica nucleare) e quindi, dal punto di vista tecnico, prescrive unicamente il rispetto di requisiti essenziali tesi a garantire la sicurezza di pazienti, operatori, astanti ed ambiente.

Ai sensi della direttiva, in mancanza di norme specifiche di prodotto, è compito del costruttore dimostrare come i singoli requisiti essenziali sono stati soddisfatti e, trattandosi di dispositivi di classe IIb, è compito dell'ente notificato che rilascia la certificazione di conformità verificare, mediante analisi del fascicolo tecnico e prove specifiche, che le misure messe in atto dal costruttore siano adeguate.

Di fatto, nel caso delle camere iperbariche, a livello europeo manca tuttora una norma di prodotto e ciò rende decisamente più complicato il dimostrare che i requisiti essenziali sono soddisfatti. Inoltre, la mancanza di una norma di prodotto rende anche più complicato il compito degli enti notificati, che potrebbero avere un comportamento non uniforme di fronte alla valutazione di rischi specifici e delle misure di prevenzione attuate per evitarli.

### 1.2 Norme di riferimento

A livello italiano la normativa di riferimento è quella degli apparecchi a pressione, trattata dal Regio Decreto 12/5/1927 n. 824, dal D.M. 21/11/72 e relative raccolte VSR, VSG, M ed S, dal D.M. 21/5/74 e dalla relativa raccolta E e dalle circolari tecniche e di aggiornamento emesse dall'ex ANCC ed ISPESL. Occorre osservare che, a parte le "*Linee Guida per la gestione in sicurezza delle camere iperbariche multiposto in ambiente clinico*" recentemente pubblicate dall'ISPESL e non disponibili al tempo dell'incidente, tutti i riferimenti sono relativi al caso generale dei recipienti a pressione.

Tale situazione è ben differente da quella statunitense. Negli Stati Uniti, difatti, è precisamente normata tanto la costruzione di camere iperbariche quanto la loro conduzione. Esiste inoltre la Undersea and Hyperbaric Medical Society, all'interno della quale esperti del settore formano un Comitato per la Sicurezza (Safety Committee dell'UHMS) che ha il compito di raccogliere informazioni relative a tutti gli incidenti occorsi all'interno o in relazione all'utilizzo di camere iperbariche, catalogarli e quindi rivedere periodicamente le linee guida pubblicate dall'ente stesso.

La costruzione delle camere iperbariche per impieghi clinici è normata dall'ANSI/ASME Pressure Vessels for Human Occupancy, che descrive in modo preciso e particolareggiato i dettagli di progetto e

realizzazione dello scafo e di tutte le parti meccaniche ad esso legate. Le camere iperbariche che soddisfano in pieno i requisiti ANSI/ASME sono dotate del marchio ANSI/ASME PVHO-1, che deve essere obbligatoriamente affisso all'esterno della camera. Il codice in oggetto è rivisto ed aggiornato periodicamente, ai fini di adeguarlo alle innovazioni tecnologiche via via disponibili. La versione in vigore nel 1997, ad esempio, fu rivista e pubblicata nel 1994.

La protezione antincendio delle camere iperbariche o dei locali che le contengono è trattata nel capitolo 19 del codice NFPA 99. Tale codice, pubblicato dalla National Fire Protection Association sino dal 1982, è continuamente rivisto ed aggiornato; mediamente viene pubblicata una nuova versione ogni due o tre anni.

La realizzazione dell'impiantistica, dal punto di vista della sicurezza elettrica, è normata dal *National Electrical Code* (NFPA-70), anche esso periodicamente rivisto ed aggiornato.

Gli aspetti legati alla gestione in sicurezza di sistemi di distribuzione di gas medicali, contenenti ad esempio suggerimenti circa lo stoccaggio e la manipolazione di gas medicali compressi, l'installazione e la pulizia delle tubazioni di distribuzione di ossigeno ed altri aspetti critici nella costruzione e conduzione di camere iperbariche cliniche sono coperti da linee guida della *Compressed Gas Association* (CGA).

Da quanto sopra riportato appare evidente che in Europa, nel 1997, esisteva unicamente la direttiva CEE 93/42, che si applica alle camere iperbariche per impieghi clinici, ma che non era stata applicata alla camera iperbarica "verde" in quanto entrata in servizio precedentemente all'entrata in vigore della direttiva. Negli Stati Uniti invece esisteva già allora un impianto normativo estremamente completo che, d'altra parte, non è assolutamente in conflitto con la direttiva CEE 93/42, ma che costituiva ed ancora costituisce un riferimento sicuro per garantire il soddisfacimento dei requisiti essenziali.

Si ritiene ancora opportuno sottolineare che le norme statunitensi sono state in vigore per oltre venti anni e che nel corso di questo periodo sono state continuamente aggiornate tenendo conto delle evoluzioni della tecnologia e degli incidenti occorsi.

## **2. Descrizione di una camera iperbarica multiposto**

Nel seguito sarà fornita la descrizione di una generica camera iperbarica multiposto dando risalto ai particolari legati alla prevenzione del rischio di incendio ed esplosione. È opportuno sottolineare che, per motivi di sicurezza, le camere iperbariche multiposto non sono progettate per operare in ossigeno puro. Quando il trattamento in ambiente saturo d'ossigeno sia indispensabile, questo è generalmente condotto in camere monoposto.

### **2.1 Struttura**

Una camera iperbarica multiposto è classificabile come un recipiente in pressione che deve essere occupato da esseri umani. Strutturalmente si presenta come uno "scafo" in metallo, realizzato in modo da poter resistere a pressioni di almeno di 5 - 6 atmosfere assolute. Lo scafo è generalmente suddiviso in due compartimenti: uno, più ampio, in grado di ospitare i soggetti sottoposti a trattamento (tipicamente da due a dieci-dodici pazienti) ed il secondo, di dimensioni più ridotte, in grado di ospitare tipicamente due persone. Questo secondo compartimento, spesso chiamato "di trasferimento", può essere isolato dal primo e deve servire anzitutto per consentire l'ingresso rapido di un operatore

dall'esterno o, in seconda istanza, la fuoriuscita di un paziente che debba terminare il trattamento prima del tempo.

All'interno dello scafo i pazienti trovano alloggiamento su sedili che possono facilmente essere ripiegati o smontati per far posto ad una o più barelle.

Nello scafo sono ricavate delle aperture (oblò) che hanno lo scopo di consentire ai pazienti di vedere all'esterno della camera stessa ed al personale di servizio all'esterno di controllare quanto avviene all'interno della camera iperbarica. Dal punto di vista costruttivo, gli oblò devono essere in grado di resistere alla pressione differenziale tra interno ed esterno e devono essere realizzati in materiale antiurto per rendere estremamente improbabile una rottura, che causerebbe una rapida decompressione potenzialmente pericolosa per l'incolumità di pazienti, operatori ed astanti.

Altre aperture, di dimensioni minori, sono ricavate nello scafo al fine di portare all'interno i servizi necessari al funzionamento della camera (distribuzione dell'ossigeno, interfono, eventuale telecamera, impianto antiincendio, ...). Queste aperture sono generalmente costituite da fori opportunamente filettati e sono solitamente dette "passaggi". Esistono ancora uno o più passaggi di dimensioni maggiori che vengono utilizzati per trasferire dall'interno all'esterno o viceversa oggetti disparati nel corso del trattamento, cioè quando la camera iperbarica è in pressione.

L'interno dello scafo è verniciato con vernici atossiche e non combustibili. Analogamente, tutti gli arredi dovrebbero essere realizzati in materiale non combustibile ed antistatico (tipicamente metallo).

I principali pericoli legati all'utilizzo di camere iperbariche multiposto sono due: a) la possibile depressurizzazione rapida della camera iperbarica e b) il pericolo di incendio nella stessa (contiene una atmosfera arricchita di ossigeno, o per aumento della sua concentrazione in volume o per aumento della pressione e quindi della quantità assoluta di ossigeno stesso) o nell'ambiente in cui essa è contenuta. I rischi legati alla perdita rapida di pressione della camera iperbarica sono contenuti entro livelli accettabili seguendo le norme relative alla costruzione ed all'esercizio di recipienti in pressione. Il pericolo di incendio, data la natura particolare del problema nel caso delle camere iperbariche, deve essere valutato attentamente tenendo conto della specifica applicazione e delle caratteristiche peculiari dello sviluppo di reazioni di combustione in atmosfere arricchite di ossigeno, a causa della pressione di esercizio elevata ed eventualmente di perdite di ossigeno all'interno della camera stessa.

## **2.2 Impianti**

I principali impianti presenti all'interno della camera iperbarica sono elencati nella seguente lista:

- Distribuzione dell'ossigeno e raccolta dei gas espirati
- Misurazione della concentrazione in volume di ossigeno nella camera iperbarica
- Condizionamento e controllo dell'umidità
- Comunicazione con l'esterno (interfono, monitor televisivo, ...)
- Illuminazione
- Impianto elettrico
- Impianto antincendio

Nel seguito saranno brevemente descritti gli impianti citati, con particolare attenzione agli aspetti legati alla sicurezza.

### 2.2.1 Distribuzione dell'ossigeno e raccolta dei gas espirati

Scopo di questo impianto è fornire l'ossigeno che i pazienti respirano mediante l'utilizzo di maschere oro-nasali (erogatori a domanda) o mediante caschi a mandata continua. Ovviamente l'ossigeno deve essere fornito a pressione e livello di purezza opportuni. A causa dei rischi associati allo sviluppo di un incendio in un ambiente nel quale viene introdotto ossigeno, la distribuzione dello stesso deve poter essere interrotta mediante una valvola il cui controllo è posto sia all'interno che all'esterno della camera iperbarica. Tale valvola non provvede solo a bloccare l'afflusso di ossigeno, ma lo sostituisce con aria a pari pressione per consentire ai pazienti di respirare anche in presenza di condizioni di emergenza (fumi, gas tossici). L'eventuale azionamento dell'impianto antincendio sarebbe opportuno causasse automaticamente la commutazione della distribuzione dell'ossigeno in distribuzione di aria.

Dal punto di vista della sicurezza occorre soprattutto considerare che tubi, raccordi, rubinetti, valvole e tutti i dispositivi che sono a contatto diretto con l'ossigeno devono essere realizzati in materiale opportuno e non devono assolutamente contenere residui di grasso o altri materiali (prevalentemente lubrificanti) che a contatto con l'ossigeno potrebbero dare luogo a reazioni esotermiche estremamente pericolose. I materiali metallici non devono essere facilmente ossidabili e pertanto sono generalmente utilizzati rame, bronzo o acciaio inossidabile. Importante osservare che tanto la costruzione quanto la riparazione dell'impianto di distribuzione dell'ossigeno deve essere eseguita unicamente da personale competente. Difatti, lavorazioni assolutamente comuni quali, ad esempio, la brasatura di tubi in rame, devono essere eseguite mettendo in atto particolari accorgimenti al fine di evitare la formazione di materiali potenzialmente pericolosi se posti a diretto contatto con ossigeno puro.

Sempre per motivi di sicurezza, è opportuno che tutti gli utensili da utilizzare per intervenire sull'impianto di distribuzione dell'ossigeno siano costruiti in materiale che non dia origine a scintille per sfregamento (ad esempio, bronzo) e che non vengano trattati con lubrificanti non approvati per uso in ambiente contenente ossigeno puro. In generale, è consigliato che tutti gli utensili da utilizzarsi sull'impianto di distribuzione dell'ossigeno siano tenuti separati dagli altri.

L'ossigeno è generalmente fornito dall'impianto centralizzato di distribuzione della struttura sanitaria o da un apposito sistema dedicato unicamente alla camera iperbarica. In questo caso, se l'ossigeno è fornito da un sistema criogenico (immagazzinato in fase liquida), devono essere messe in atto tutte le precauzioni d'obbligo.

I gas espirati, ancora ricchi di ossigeno, dovrebbero essere convogliati all'esterno dell'ambiente nel quale la camera iperbarica è situata, in modo da non poter causare l'innalzamento della percentuale di ossigeno oltre i valori normali all'interno dello spazio chiuso.

### 2.2.2 Misurazioni della percentuale in volume di ossigeno

In condizioni normali, l'atmosfera all'interno della camera iperbarica dovrebbe essere costituita da aria depurata e compressa; per operare in sicurezza, la percentuale in volume di ossigeno dovrebbe essere contenuta tra il 21% ed il 23,5%. A causa di perdite nel circuito di distribuzione dell'ossigeno, la percentuale di ossigeno all'interno della camera iperbarica pressurizzata potrebbe innalzarsi sino a raggiungere livelli di pericolo. Tale evenienza non deve essere sottovalutata, in quanto in presenza di un incremento della concentrazione di ossigeno le proprietà di molti materiali cambiano, nel senso che l'energia necessaria per l'ignizione si abbassa ed in caso di incendio la rapidità della combustione cresce in modo elevato.

L'aumento oltre i limiti di sicurezza (tipicamente 23,5% in volume) della percentuale di ossigeno è evitato mediante due diverse strategie.

La prima consiste nel ricambiare continuamente parte dell'aria presente all'interno della camera pressurizzata; questa procedura, conosciuta come "lavaggio della camera", consente di rinnovare continuamente l'aria contenuta all'interno, limitando inoltre la probabilità che si possano formare delle zone all'interno delle quali la percentuale di ossigeno è più elevata che altrove. Il "lavaggio" consente inoltre di tenere sotto controllo altri parametri ambientali, tra i quali l'umidità e la presenza di odori sgradevoli: un'idea dell'importanza di questi fattori la si può avere considerando che in un volume di dieci-venti metri cubi sono contenuti sino a dieci-dodici esseri umani per un tempo di circa un'ora e mezza. A seconda del volume della camera, del numero di occupanti, dei sistemi per l'erogazione di ossigeno utilizzati e di altri fattori meno rilevanti, il lavaggio consiste nel ricambio di 500 – 2500 l/min (alla pressione interna della camera) di aria ambiente.

La seconda strategia consiste nell'effettuare un continuo prelievo di aria all'interno della camera, effettuare una misura della percentuale di ossigeno e prendere i necessari provvedimenti in modo tempestivo qualora vengano superati i limiti considerati di sicurezza (23,5% in volume). La misura viene effettuata portando aria interna alla camera a contatto di opportuni sensori in grado di rilevare la percentuale di ossigeno presente nel gas. Tali sensori possono essere realizzati con tecniche differenti, ma tutti necessitano di una taratura periodica ed hanno durata limitata. Risulta pertanto assolutamente necessario che i responsabili della conduzione della camera iperbarica siano sempre in grado di dimostrare che su detti sensori vengono eseguite tutte le operazioni di calibrazione e verifica suggerite dal costruttore e che i sensori stessi vengono periodicamente sostituiti, sempre seguendo le indicazioni del costruttore, senza attendere che non siano più in grado di funzionare correttamente. Un sensore nuovo, di scorta, dovrebbe sempre essere a disposizione per poter provvedere alla tempestiva sostituzione di un sensore non più in perfetta efficienza.

Al fine di poter avere una maggior affidabilità del sistema, sarebbe opportuno che il circuito di prelievo dell'aria interna provvedesse al prelievo stesso in più punti all'interno della camera, in modo da poter ottenere una indicazione più distribuita ed evitare l'evenienza della formazione di sacche ad alta concentrazione di ossigeno. Sempre al fine di aumentare l'affidabilità del sistema, sarebbe preferibile avere un sistema ridondante (dotato di più sensori attivi sullo stesso campione d'aria) al fine di poter verificare in modo automatico il cattivo funzionamento di un sensore ed eventualmente correggerlo.

### 2.2.3 Condizionamento e controllo dell'umidità

Durante le fasi di compressione e decompressione la temperatura all'interno della camera iperbarica rispettivamente aumenta e diminuisce, in modo tale da poter provocare fastidio nei pazienti e negli operatori di sorveglianza. Inoltre, al fine di scongiurare l'accumulo di elettricità statica, è opportuno mantenere all'interno della camera un livello di umidità relativa superiore al 50%.

Al fine di migliorare il comfort ambientale e la sicurezza, le camere multiposto sono spesso munite di un sistema di condizionamento e di controllo dell'umidità consistente in scambiatori di calore attraverso ai quali viene fatta scorrere acqua opportunamente scaldata o raffreddata all'esterno della camera. L'impatto di questi sistemi sulla sicurezza è indiretto, ma certamente il mantenere l'umidità ambiente al di sopra del limite indicato consente di diminuire sensibilmente il rischio di formazione di cariche elettrostatiche che potrebbero dare origine a scintille a loro volta possibili cause di ignizione.

#### 2.2.4 Comunicazione con l'esterno

Siccome durante la terapia l'unica possibilità di comunicazione tra interno ed esterno della camera iperbarica è garantita dal sistema interfonico e dall'eventuale telecamera, è evidente che, soprattutto l'interfono, deve essere estremamente affidabile e ben funzionante. In generale sarebbe opportuno avere uno o più microfoni continuamente attivi all'interno della camera iperbarica, in modo da consentire all'operatore alla consolle di seguire chiaramente quanto avviene all'interno. Inoltre sarebbe opportuno che il sanitario all'interno della camera potesse disporre di un altro canale di comunicazione, riservato, verso l'esterno. Il sistema interfonico dovrebbe certamente essere in grado di funzionare anche in condizioni di emergenza (mancanza di energia elettrica, principio di incendio, spegnimento in corso, ...).

Anche in questo caso, ai fini della sicurezza questo sistema agisce indirettamente, ma è assolutamente evidente come in caso di bisogno un canale di comunicazione vocale e, se possibile, visivo tra esterno ed interno sia estremamente importante.

#### 2.2.5 Illuminazione

In generale, tutte le camere iperbariche multiposto sono dotate di sistemi di illuminazione nei quali le sorgenti luminose sono poste all'esterno della camera e la luce è portata all'interno della stessa mediante cilindri di materiale plastico o di vetro che attraversano lo scafo direttamente o sono posizionati su idonee aperture trasparenti e funzionano, dal punto di vista della luce, come grosse fibre ottiche. In generale è anche possibile avere sorgenti luminose interne alla camera iperbarica, ma queste richiedono particolari precauzioni onde limitare il rischio di ignizione (per cortocircuito o surriscaldamento).

#### 2.2.6 Impianto elettrico

Occorre distinguere l'impianto esterno alla camera, che fornisce alimentazione a tutti i servizi della stessa e della stanza all'interno della quale la camera iperbarica è situata e l'impianto elettrico interno alla camera iperbarica stessa.

Per quanto riguarda quello esterno, il punto chiave è garantire la funzionalità di tutti i servizi della camera iperbarica anche in presenza di emergenza.

L'impianto elettrico interno deve consentire di fornire alimentazione ad apparecchi che devono essere portati all'interno della camera iperbarica. In questo caso, il punto chiave per la sicurezza consiste nel realizzare questo impianto in modo che esso non possa essere causa di ignizione. Questo obiettivo può essere raggiunto grazie all'impiego di materiali appositi ed eseguendo un cablaggio particolare.

#### 2.2.7 Impianto antincendio

Il rischio più rilevante al quale sono sottoposti gli occupanti di una camera iperbarica multiposto è il rischio di incendio. Occorre anche qui distinguere due situazioni: nel primo caso l'incendio si sviluppa nell'ambiente che ospita la camera iperbarica, nel secondo all'interno della camera iperbarica stessa.

Nel primo caso è evidente che un incendio nel locale che contiene la camera iperbarica è estremamente insidioso in quanto costringe l'operatore ad allontanarsi dal quadro di comando, può compromettere l'efficienza dei servizi della camera iperbarica (illuminazione, interfono, distribuzione aria o ossigeno per la respirazione, ...) ed infine può causare un aumento intollerabile della temperatura dello scafo. Alla luce delle considerazioni sopra riportate, l'impianto antincendio presente nel locale dovrebbe essere tale da garantire una adeguata copertura al personale che, dovendo operare al quadro di

comando della camera iperbarica, non è nella condizione di lasciare la stanza con tempestività. Inoltre, sempre per permettere all'operatore di continuare ad operare anche in presenza di fumi o esalazioni irritanti o tossiche, dovrebbe essere sempre presente, nelle immediate vicinanze del quadro di comando, un respiratore munito di maschera pressurizzata.

Il pericolo di incendio all'interno della camera iperbarica è estremamente serio, soprattutto perché il tempo necessario per uscire dalla stessa è dell'ordine della decina di minuti almeno. Qualora dovesse avere inizio un incendio, pertanto, l'unica azione di soccorso possibile dall'esterno consisterebbe nel far entrare nella camera iperbarica un operatore munito di autorespiratore; tale operazione richiede almeno due o tre minuti e comunque, in caso di incendio di proporzioni vaste, potrebbe non essere possibile.

L'unico mezzo che consente di limitare i danni di un inizio di incendio è la presenza all'interno della camera di un sistema antincendio adeguato, azionabile tanto dall'interno quanto dall'esterno. Le norme statunitensi prevedono, come sarà meglio dettagliato nel seguito, due misure differenti: la prima consiste nella presenza di un impianto di spegnimento a pioggia, la seconda nella presenza di almeno due manichette orientabili poste agli estremi della camera. Le caratteristiche tecniche dei due impianti devono essere tali da garantirne il funzionamento quando la camera funziona alla massima pressione di esercizio. Le norme statunitensi, contenute nel capitolo 19 del codice 99 dell'NFPA, forniscono le caratteristiche tecniche e le portate minime dei due impianti. Le stesse norme, tra l'altro, sottolineano che l'eventuale presenza di un estintore ad acqua omologato per impiego in ambienti in pressione non può assolutamente sostituire manichette o impianto di spegnimento a pioggia. Indipendentemente dal fatto che un eventuale impianto antincendio rispetti strettamente le prescrizioni statunitensi – cosa auspicabile – è assolutamente incontestabile che, in caso di incendio, l'erogazione d'acqua con portata inferiore o in quantità minore a quella indicata dalle norme citate potrebbe comunque essere sufficiente a consentire il tempestivo spegnimento di un principio di incendio o quantomeno limitarne la rapidità di propagazione e contenere i danni prodotti agli occupanti.

Le prescrizioni normative statunitensi suggeriscono (non impongono) che debba essere sempre presente, all'interno della camera iperbarica, un operatore opportunamente formato, informato ed addestrato circa l'uso dei mezzi antincendio presenti e le procedure di emergenza da seguire. Difatti, in mancanza di quest'ultimo le manichette si rivelerebbero assolutamente inutili e l'impianto di spegnimento a pioggia potrebbe essere azionato solo dall'esterno (mentre le norme stesse prevedono che esso possa essere azionato anche dall'interno della camera iperbarica stessa). Occorre sottolineare sin d'ora che la presenza di un operatore all'interno della camera iperbarica nel corso di ogni trattamento, ovviamente opportunamente informato, formato ed addestrato è l'unica strada possibile al fine di poter prevenire situazioni di pericolo o comunque limitare i danni in modo sensibile. A questo proposito, sebbene le norme statunitensi non prevedano la presenza obbligatoria di personale all'interno della camera nel corso del trattamento, la presenza di tale personale è, negli Stati Uniti, estremamente usuale.

Occorre peraltro osservare che, invece, la US Air Force prevede espressamente la presenza di personale all'interno di camere iperbariche multiposto: difatti, le procedure di emergenza sviluppate dall'US Air Force sono sempre dirette anzitutto all'*inside observer*, quindi al *console operator*, all'*hyperbaric chamber technician*, al *physician/safety monitor*, ed infine all'*other personnel* (si vedano le appendici C - 19.2.1 e 19.2.2 del codice 99 dell'NFPA). Se la presenza di un operatore all'interno della camera iperbarica è imposta da un ente quale l'US Air Force, che si presume utilizzi camere iperbariche prevalentemente per personale militare, quindi fisicamente efficiente e tecnicamente

informato ed addestrato, quando all'interno della camera devono essere trattati degli infermi o comunque dei soggetti non debitamente addestrati, come avviene nelle strutture sanitarie, la presenza di un operatore all'interno parrebbe inevitabile.

### **3. Reale situazione della camera iperbarica verde**

In questa sezione vengono ripresi gli aspetti trattati nella sezione precedente facendo riferimento alla situazione nella quale si trovava la camera iperbarica verde dell'Istituto Ortopedico Galeazzi al momento in cui si sviluppò l'incendio catastrofico che causò il decesso di tutti gli occupanti.

Per ogni singolo aspetto viene descritto lo stato della camera iperbarica e viene richiamata, per confronto, la normativa statunitense di riferimento al fine di mettere in evidenza eventuali evidenti carenze.

#### **3.1.1 Distribuzione dell'ossigeno e raccolta dei gas espirati**

L'impianto di raccolta dei gas espirati è assolutamente tradizionale e consisteva in tubi in materiale plastico, collegati alla valvola di scarico degli erogatori oro-nasali o all'apertura di scarico dei caschi, che confluivano in un tubo rigido di raccolta che convogliava i gas espirati al tubo venturi responsabile della loro espulsione all'esterno della camera iperbarica. Nella figura 1, relativa alla camera azzurra, simile per struttura a quella nella quale si è verificato l'incidente, non sono presenti le maschere oro-nasali ed i caschi ed il tubo di mandata dell'ossigeno (TM) è direttamente raccordato al tubo di scarico di ogni singola postazione (TS). Il tubo rigido di raccolta dei gas espirati è visibile in basso (TR) mentre non è visibile il tubo venturi.

L'impianto di erogazione dell'ossigeno consisteva in un tubo rigido di mandata (TRM) collegato, tramite un passaggio nello scafo, all'impianto esterno di erogazione dell'ossigeno in pressione. Il tubo flessibile di mandata (TM) è collegato al riduttore di pressione (RP) che è separato dal tubo rigido di mandata dell'ossigeno da una saracinesca (SR). Era quindi possibile intercettare la mandata di gas alle maschere o ai caschi in modo selettivo per ogni paziente.

L'erogazione dell'ossigeno al singolo paziente avveniva solitamente (ma anche nel corso del trattamento durante il quale si verificò la catastrofe) mediante maschere oro-nasali o caschi semirigidi. Le differenze tra i due accessori sono piuttosto rilevanti.

Nel caso delle maschere oro-nasali l'afflusso di ossigeno e lo scarico dei gas espirati sono regolati da due valvole pneumatiche: la valvola che consente l'erogazione dell'ossigeno si attiva quando il paziente compie un atto inspiratorio e quindi causa una depressione all'interno della maschera (si ricordi che l'ossigeno viene fornito ad una pressione che è sostanzialmente pari alla pressione presente nella camera nel corso del trattamento); al momento dell'espiazione la valvola di erogazione si chiude a causa della sovrappressione che si crea nella maschera, che a sua volta causa l'apertura della valvola di scarico.

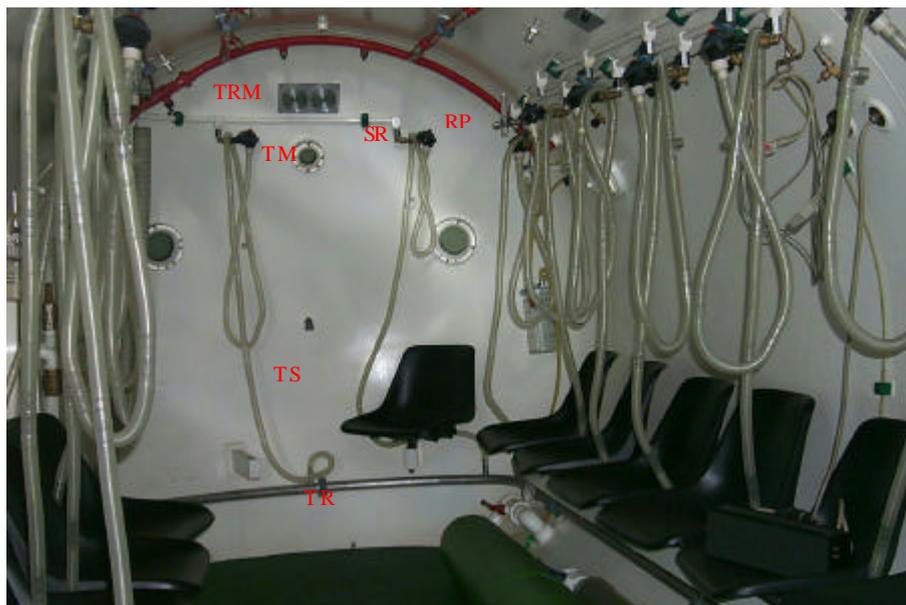


Figura 1 – Interno della camera azzurra, con evidenziati il tubo rigido di mandata dell’ossigeno (TRM), il riduttore di pressione (RP), la saracinesca (SR), il tubo flessibile di mandata (TM), il tubo di scarico (TS) ed il tubo rigido di raccolta dei gas espirati (TR).

Il principale vantaggio della maschera è costituito dal fatto che l’erogazione dell’ossigeno avviene unicamente durante l’inspirazione: se la maschera non aderisse bene al volto non si creerebbe la depressione necessaria a consentire l’apertura della valvola di mandata e quindi l’ossigeno non sarebbe erogato. Una maschera rimossa dal volto del paziente, pur dopo aver aperto la saracinesca individuale (SR) che consente l’erogazione dell’ossigeno, non potrebbe comunque disperdere ossigeno all’interno della camera iperbarica: questo, ovviamente, è rilevante al fine di mantenere la percentuale in volume di ossigeno al di sotto dei limiti di sicurezza. D’altra parte, la corretta utilizzazione di erogatori di questo tipo non è immediata e naturale e richiede un seppur breve periodo di adattamento; in presenza di pazienti scarsamente collaborativi, molto deboli o non completamente lucidi, l’adattamento del paziente può risultare difficoltoso. Inoltre, se il paziente scostasse anche solo di poco la maschera dal volto non riuscirebbe a comandare l’apertura della valvola di mandata dell’ossigeno e quindi inspirerebbe aria ambiente (quindi non arricchita di ossigeno), vanificando o riducendo gli effetti benefici della seduta terapeutica. In breve, le maschere oro-nasali sono più sicure dal punto di vista della dispersione di ossigeno nell’ambiente, ma richiedono un breve periodo di adattamento del paziente, la sua collaborazione e la comprensione delle modalità d’uso.

I caschi sono strutture semirigide che avvolgono la testa del paziente; la tenuta è garantita da un collare in lattice che deve aderire strettamente al collo di chi indossa il casco per evitare – o quantomeno ridurre sufficientemente – il pericolo dovuto al trafileamento di ossigeno. L’ossigeno è erogato con continuità, indipendentemente dagli atti respiratori del paziente, con un flusso dell’ordine di 20 l/min. Il vantaggio principale del casco è la semplicità d’uso e la possibilità di utilizzarlo anche su pazienti scarsamente collaborativi; gli svantaggi maggiori sono due: a) il fatto che il flusso sia continuo, cosa che rende possibile una dispersione di ossigeno nell’ambiente qualora la saracinesca individuale di consenso all’erogazione di ossigeno sia aperta mentre il paziente non indossa il casco; b) la possibilità di trafileamento di ossigeno dal collare in lattice, che può andare ad impregnare i vestiti del paziente con il

risultato di abbassarne fortemente l'energia di ignizione ed accelerare in modo significativo la velocità di propagazione della combustione e la temperatura di fiamma.

Nel corso del trattamento iperbarico durante il quale successe il grave incidente, all'interno della camera iperbarica si trovavano dieci pazienti ed un operatore; per almeno cinque pazienti era stato previsto l'uso del casco; questa affermazione è basata sui residui dei caschi ritrovati all'interno della camera iperbarica ed è confermata dalle annotazioni sulle cartelle cliniche delle vittime. I caschi utilizzati in occasione dell'incidente sono del modello di quello rappresentato in figura 2, prodotti dalla ditta statunitense Sea-Long Medical Systems Inc. (Louisville, Kentucky, USA) ed evidentemente sono stati modificati a cura dell'Istituto Ortopedico Galeazzi inserendo due cerniere nel collare in lattice del casco. La figura 3 rappresenta il collare in lattice in una immagine originale del produttore (si noti l'assenza di cerniere).

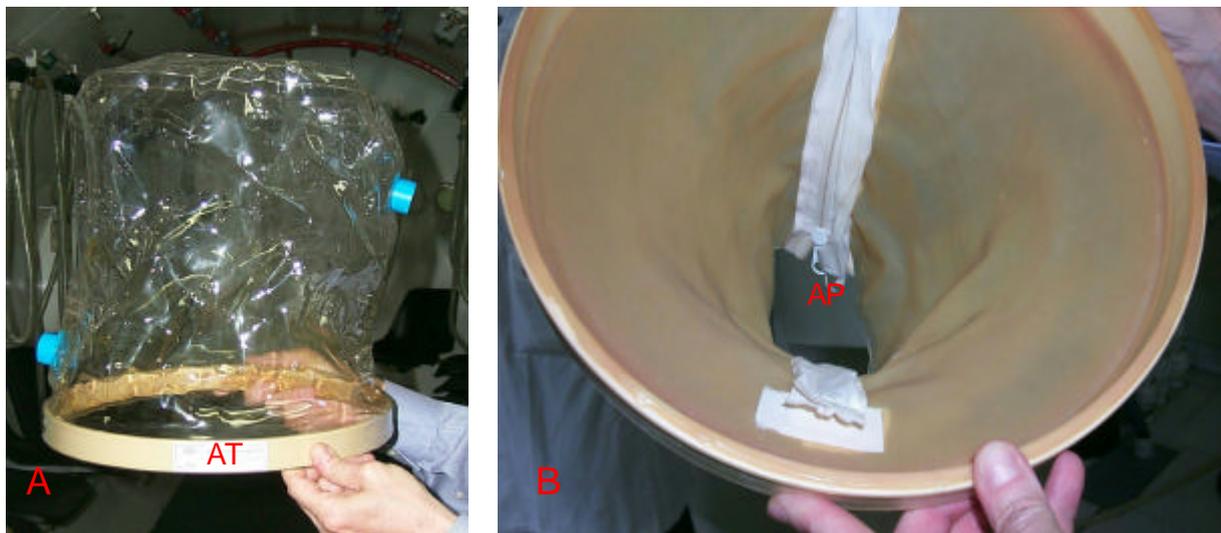


Figura 2 – Parte A: struttura superiore del casco: sono evidenti le bocchette azzurre per l'immissione di ossigeno e per l'asportazione dei gas espirati. Parte B: collare in lattice, normalmente inserito nell'anello di tenuta (AT) della parte superiore del casco – il collo del paziente è inserito nell'apertura in basso (AP); il lattice dovrebbe garantire la tenuta evitando il trafileamento dell'ossigeno lungo il collo del paziente. Si notino le due cerniere inserite dopo la consegna dei caschi all'Istituto Ortopedico Galeazzi al fine di facilitare l'uso dei caschi, ma che pregiudicano in modo intollerabile la loro tenuta.



Figura 3 – Illustrazione pubblicata sul sito Web del produttore del collare in lattice: si osservi la mancanza delle cerniere inserite nei collari in uso al momento dell'incidente.

La modifica riscontrata nei collari in lattice utilizzati al momento dell'incidente, consistente nell'inserzione di due cerniere per facilitare l'inserimento ed il disinserimento del collare, è tale da pregiudicare in modo notevole la tenuta del collare stesso: difatti è assolutamente evidente anche ai non addetti ai lavori che una cerniera qualunque, quali quelle che si possono normalmente acquistare in merceria per poche migliaia di lire, non è assolutamente in grado di garantire la tenuta di gas.

Indipendentemente dal fatto che il dispositivo medico in oggetto è (ed era, all'epoca dell'incidente) stato approvato dalla Food and Drug Administration statunitense nelle condizioni in cui il fornitore lo metteva a disposizione degli acquirenti (cioè senza cerniere) e che quindi ogni modifica apportata dal cliente è illegittima, in quanto fa decadere ogni certificazione detenuta dal prodotto, nel caso in questione riesce impossibile comprendere come si sia potuto accettare di usare un prodotto così evidentemente carente dal punto di vista della sicurezza, mettendo a repentaglio l'incolumità di chi era sottoposto al trattamento iperbarico e dei dipendenti dell'Istituto Ortopedico Galeazzi che svolgevano opera di assistenza.

Per effetto della modifica prodotta, infatti, è assolutamente certo che la tenuta dei caschi era profondamente compromessa: nel corso dei trattamenti, l'ossigeno che trafileva dalle cerniere e dal collare stesso, non più aderente alla cute del collo del paziente come nelle condizioni originali, si trovava verosimilmente incanalato negli indumenti dei pazienti, andando progressivamente a sostituire l'aria contenuta nei tessuti degli abiti e creando, nei tessuti stessi e nelle loro vicinanze, una concentrazione di ossigeno potenzialmente molto elevata; siccome però l'ossigeno in queste condizioni tendeva a restare per lo più confinato nei tessuti o nelle loro immediate vicinanze, il misuratore della percentuale di ossigeno presente nella camera non era in grado di segnalare, almeno per parecchi minuti, alcuna variazione anomala. La possibilità che l'ossigeno sia assorbito da tessuti e resti ivi confinato anche per tempi dell'ordine di parecchi minuti è nota e riportata, ad esempio, al punto C-19.1.1.3.4.2 del codice NFPA 99 (ed. 1996, quindi precedente l'incidente). Casi di incidenti mortali dovuti al fatto che ossigeno era andato a saturare gli abiti di operai nel corso di interventi manutentivi e quindi aveva reso possibile, in un secondo tempo ed in ambienti non certamente saturi d'ossigeno, l'ignizione degli abiti stessi erano già allora riportati in letteratura. È noto che la presenza di elevate concentrazioni di ossigeno

in un tessuto ne abbassa l'energia di ignizione e ne aumenta la velocità di combustione, tanto più se in ambiente a pressione assoluta maggiore di quella atmosferica.

Uno degli occupanti della camera iperbarica nel corso del tragico trattamento, la signora Pisanò, stando alle annotazioni riportate in cartella clinica, non era stata ritenuta idonea ad indossare la maschera oro-nasale e quindi indossava il casco. Le perizie medico-legali concordano nell'indicare la signora stessa come la vittima colpita più violentemente dall'incendio, tanto che si ritiene non abbia compiuto, dal momento della vampata, neppure un atto respiratorio (cfr. Perizie medico legali). Stando alle deposizioni del marito della signora, nel corso del trattamento iperbarico, la stessa aveva con se uno scaldamani preventivamente rifornito di carburante ed acceso: indipendentemente dal tipo di scaldamani utilizzato, questo certamente causò nelle sue immediate vicinanze un aumento di temperatura che, in presenza di una concentrazione elevata di ossigeno negli abiti della signora avrebbe potuto arrivare sino a provocarne l'ignizione. Gli aspetti relativi alla generazione dell'incendio ed alla sua propagazione sono trattati in maggior dettaglio nel seguito di questa consulenza (cfr. § 5).

### 3.1.2 Misurazioni della percentuale in volume di ossigeno

Nella camera iperbarica in questione era presente un sistema per la misura della concentrazione in volume di ossigeno, disinseribile dal quadro di comando esterno, collegato ad un sistema di allarme visivo e sonoro automatico. La misura poteva essere riferita tanto alla camera di trattamento quanto alla camera di trasferimento; la scelta tra i due ambienti era ottenuta inviando alla cella ossimetrica aria proveniente dall'uno o dall'altro ambiente.

Dal punto di vista tecnico, il sistema per la rilevazione della concentrazione in volume di ossigeno non era particolarmente raffinato, ma sostanzialmente allineato con quanto presente in camere iperbariche di simili caratteristiche ma costruite da costruttori diversi alla fine degli anni ottanta. Il punto critico di tale sistema è la cella ossimetrica, in quanto: a) richiede una calibratura frequente (meglio se giornaliera) che però è piuttosto semplice e veloce – il pannello di controllo era predisposto per consentire l'esecuzione dell'operazione di taratura utilizzando come campione l'aria presente all'interno della camera non pressurizzata ed a portellone aperto, prima dell'inizio dei trattamenti; b) si esaurisce nel giro di alcuni mesi e quindi deve essere sostituita con regolarità. Dagli atti pare che le celle ossimetriche fossero sostituite con frequenza ragionevole rispetto all'uso della camera iperbarica e pertanto si ritiene altamente probabile che al momento dell'incidente il sistema di misura della concentrazione di ossigeno fosse efficiente.

Interessante invece osservare come il sistema di allarme associato al misuratore della percentuale di ossigeno fosse regolato in modo da far intervenire l'allarme luminoso per concentrazioni superiori al 27% (quando era ben noto a livello nazionale ed internazionale che il livello di sicurezza è pari al 23,5%). Tale impostazione delle soglie di allarme era presente anche nel misuratore della concentrazione di ossigeno della camera azzurra, mentre un terzo misuratore, sempre della camera azzurra, aveva impostato un valore pari al 37%. La figura 4 rappresenta il misuratore della camera verde ed i selettori che permettono di inserire i valori delle soglie del sistema di allarme.



Figura 4 – Misuratore della percentuale in volume di ossigeno della camera iperbarica nella quale occorre l'incidente: si osservi come la soglia di intervento del sistema di allarme sia pari al 27% (S).

È lecito domandarsi per quale motivo la soglia di intervento del sistema di allarme per sovraconcentrazione di ossigeno fosse stata impostata ad un livello sensibilmente più alto di quanto non fosse allora (e sia tutt'oggi) suggerito dalla letteratura internazionale. Nel corso del sopralluogo compiuto presso l'Istituto Ortopedico Galeazzi in data 17 maggio 2001 questa domanda venne posta al responsabile del reparto al tempo dell'incidente, Prof. Giorgio Oriani, che rispose dicendo che evidentemente nel trambusto che seguì l'incidente qualcuno poteva aver modificato inavvertitamente le soglie. Questo spiega la soglia posta al 37%, ma non gli altri due casi: infatti esiste un filmato televisivo, citato nella CT Bardazza, Barzi e D'Ambrosio, nel quale i consulenti citati riferiscono come si veda chiaramente il misuratore della percentuale di ossigeno indicare un valore del 29%, la soglia regolata al 27% e la spia di allarme accesa; questo filmato, precedente l'incidente, era stato mandato in onda nel corso di una trasmissione nella quale si citavano l'ossigenoterapia iperbarica e l'Istituto Ortopedico Galeazzi.

Apparentemente quindi era frequente, nel corso dei trattamenti iperbarici, avere percentuali di ossigeno così elevate da richiedere di posizionare la soglia dell'allarme ad un valore sufficientemente alto da scongiurare l'attivazione. La spiegazione più probabile di questa scorretta consuetudine è verosimilmente da ricercare nella abitudine di eseguire trattamenti iperbarici con un numero elevato di pazienti dotati di caschi. La letteratura internazionale mette in guardia i gestori di impianti iperbarici dall'usare caschi quando non sia strettamente necessario, in quanto è riconosciuto che un casco, per quanto correttamente costruito ed in buone condizioni di manutenzione, causa sempre la diffusione di ossigeno nell'ambiente della camera iperbarica. In particolare si suggerisce, qualora l'uso di caschi sia inevitabile, di non superare comunque mai il numero di tre – cinque pazienti dotati di casco, provvedere ad una ventilazione adeguata e tenere strettamente sotto controllo la percentuale in volume di ossigeno ambiente: queste precauzioni sono da considerarsi necessarie in strutture nelle quali tutte le procedure di sicurezza – descritte nel seguito di questa perizia – sono state messe in atto e tutti gli accessori utilizzati sono assolutamente efficienti. Come è già stato sottolineato e come ancora sarà sottolineato nel seguito, questa situazione non è certo quella nella quale si trovavano le camere iperbariche dell'Istituto Ortopedico Galeazzi al momento della sciagura.

Un'ipotesi che consideriamo l'unica, alla luce dei fatti, che possa spiegare la consuetudine di lavorare con le soglie di allarme della cella ossimetrica correntemente posizionate su valori sensibilmente superiori a quelli suggeriti dalla norma è che usualmente, nel corso dei trattamenti, la percentuale in volume di

ossigeno nella camera iperbarica tendesse a salire sensibilmente, nonostante fosse usualmente adottata la procedura di “lavaggio” (ricambio d’aria della camera) anche in misura piuttosto rilevante (nel corso del succitato sopralluogo il Prof. Oriani riferì che era solitamente effettuato un lavaggio di circa 2000 l/min), a causa delle perdite rilevanti di ossigeno che verosimilmente si avevano a causa dell’uso dei caschi modificati.

Al fine di verificare l’attendibilità di tale ipotesi è stato sviluppato un semplice modello alle differenze finite che, definiti il volume della camera iperbarica, il flusso di lavaggio ed il flusso disperso di ossigeno, consente di simulare l’evoluzione nel tempo della percentuale in volume dell’ossigeno all’interno della camera iperbarica nell’ipotesi di completa miscelazione dell’ossigeno disperso nell’aria interna. L’uso di tale modello consente inoltre di stimare la massima concentrazione di ossigeno che poteva essere presente all’interno della camera al momento dell’incidente; questo dato è piuttosto importante ai fini di definire la rapidità con cui si è svolta la tragedia e valutare la reale possibilità dell’impianto antincendio (qualora fosse stato funzionante) di ridurre la durata e l’intensità dell’incendio stesso riducendo nel contempo i danni agli occupanti.

La figura 5 mostra i risultati della simulazione nel caso di flusso di lavaggio pari a 500 l/min, che rappresenta una condizione pessimistica, in quanto, come prima riportato, pare che fosse abitudine mantenere un flusso di lavaggio circa quattro volte maggiore. Due sono gli aspetti di interesse: a) anzitutto si osserva come, anche qualora tutto il flusso di ossigeno destinato ai pazienti fosse andato disperso (curva 200 l/min), dopo 15 minuti dall’inizio dell’erogazione dell’ossigeno la percentuale in volume di ossigeno all’interno della camera non avrebbe raggiunto nemmeno il 30%; b) un flusso disperso pari a soli 50 l/min (verosimilmente una sottostima di quanto avveniva utilizzando cinque o sei caschi modificati) sarebbe stato sufficiente a causare un aumento della percentuale in volume dell’ossigeno nel corso dell’intero trattamento sino a valori prossimi al 26-27%, tali da causare l’attivazione dell’allarme visivo e sonoro qualora la soglia di intervento dello stesso fosse stata regolata ad un valore del 23% - 24% come suggerito dalla letteratura scientifica disponibile all’epoca dell’incidente.

Le figure 6, 7 ed 8 riportano i risultati delle stesse simulazioni nei casi di flusso di lavaggio rispettivamente pari a 1000 l/min, 1500 l/min e 2000 l/min. Considerando il caso di un flusso di lavaggio pari a 1500 l/min (poco inferiore a quello impostato nel corso del trattamento conclusosi tragicamente) si osserva che: a) dopo 15 minuti dall’inizio del trattamento, nell’ipotesi pessimistica di dispersione totale del flusso di ossigeno nell’ambiente, la concentrazione sarebbe comunque stata contenuta al di sotto del 27,5% mentre nell’ipotesi più verosimile di una dispersione dell’ordine dei 50 l/min – 100 l/min la concentrazione non avrebbe potuto superare il 24%; b) nell’ipotesi verosimile di un flusso disperso contenuto tra i 50 l/min ed i 100 l/min, dopo 60 minuti dall’inizio dell’erogazione la concentrazione di ossigeno nell’ambiente avrebbe potuto variare tra grossomodo il 23,5% ed il 26%, valori che potrebbero spiegare la consuetudine di tarare la soglia di intervento dell’allarme per sovraconcentrazione di ossigeno ad un valore pari al 27%.

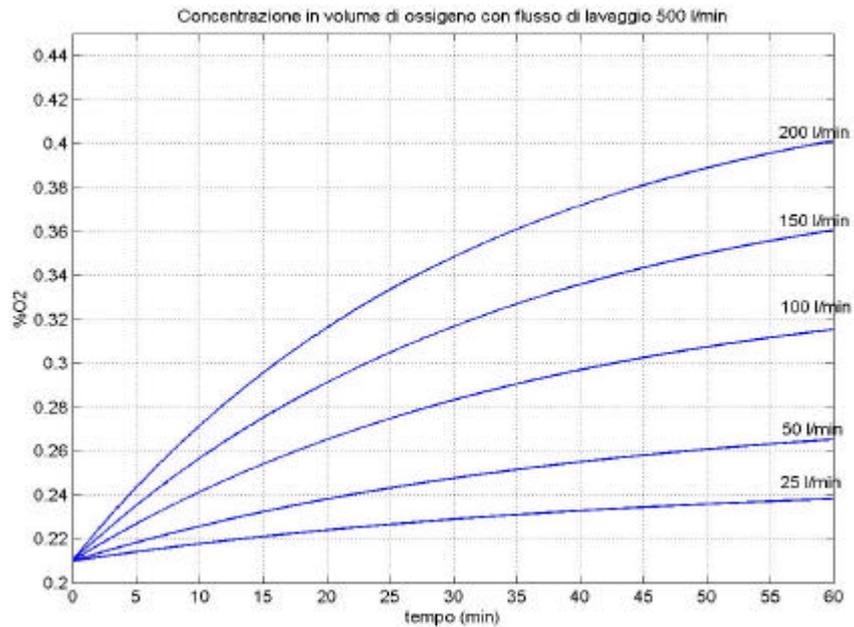


Figura 5 – Simulazione dell’andamento della concentrazione in volume di ossigeno in un ambiente del volume di 22 m<sup>3</sup> in funzione del tempo con un flusso di lavaggio pari a 500 l/min. Sono riportate cinque curve relative rispettivamente ad un flusso disperso di ossigeno pari a 25 l/min, 50 l/min, 100 l/min, 150 l/min, 200 l/min.

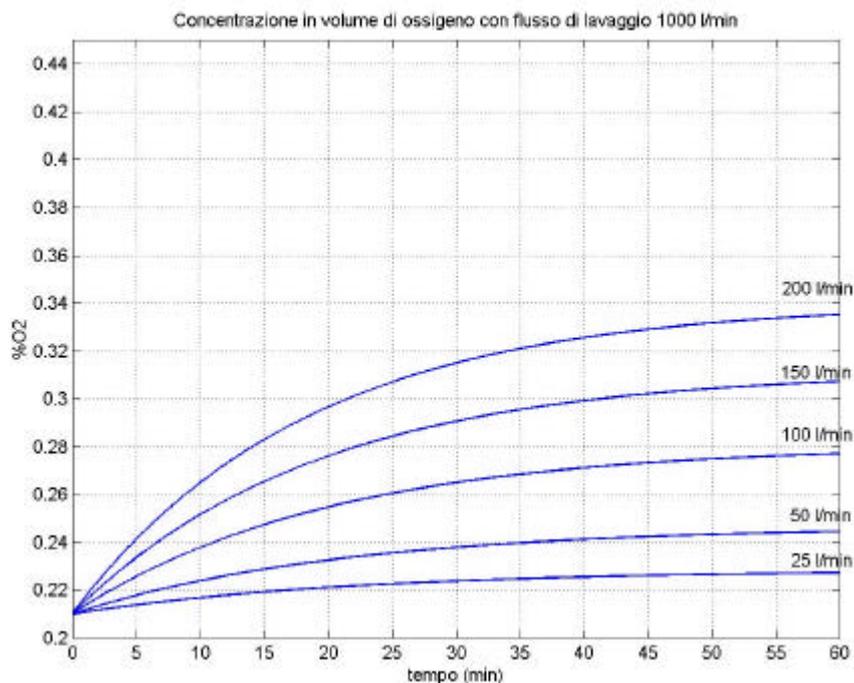


Figura 6 – Simulazione dell’andamento della concentrazione in volume di ossigeno in un ambiente del volume di 22 m<sup>3</sup> in funzione del tempo con un flusso di lavaggio pari a 1000 l/min. Sono riportate cinque curve relative rispettivamente ad un flusso disperso di ossigeno pari a 25 l/min, 50 l/min, 100 l/min, 150 l/min, 200 l/min.

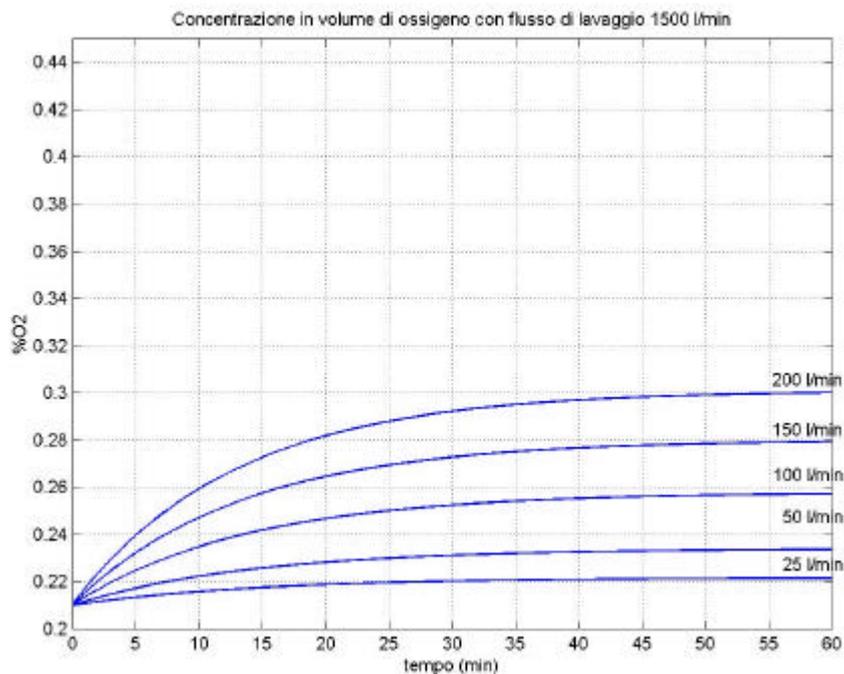


Figura 7 – Simulazione dell’andamento della concentrazione in volume di ossigeno in un ambiente del volume di  $22\text{ m}^3$  in funzione del tempo con un flusso di lavaggio pari a 1500 l/min. Sono riportate cinque curve relative rispettivamente ad un flusso disperso di ossigeno pari a 25 l/min, 50 l/min, 100 l/min, 150 l/min, 200 l/min.

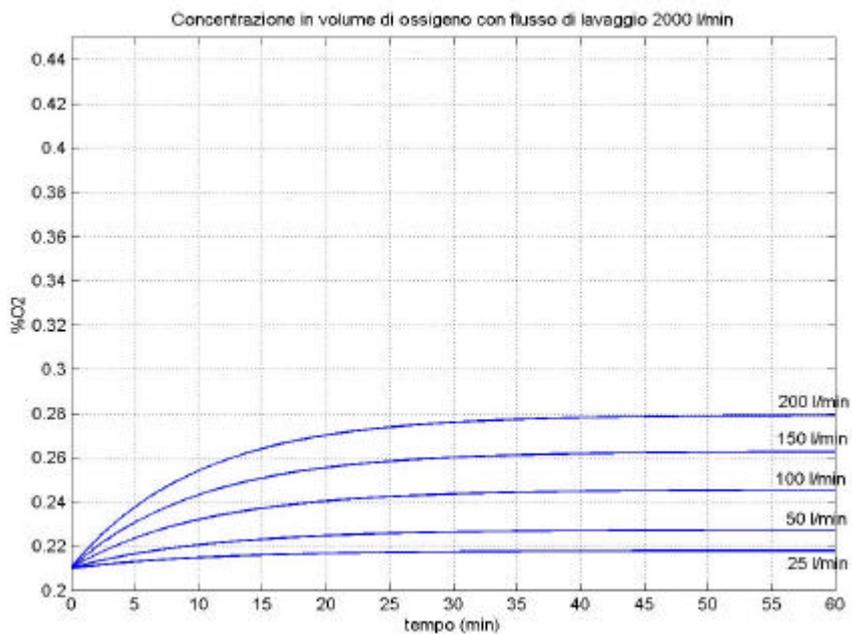


Figura 8 – Simulazione dell’andamento della concentrazione in volume di ossigeno in un ambiente del volume di  $22\text{ m}^3$  in funzione del tempo con un flusso di lavaggio pari a 2000 l/min. Sono riportate cinque curve relative rispettivamente ad un flusso disperso di ossigeno pari a 25 l/min, 50 l/min, 100 l/min, 150 l/min, 200 l/min.

In conclusione, l'analisi del sistema di rilevazione della concentrazione di ossigeno all'interno della camera iperbarica, unitamente alla considerazione degli effetti negativi delle modifiche "artigianali" apportate ai collari in lattice ed alla constatazione che la soglia di intervento della cella ossimetrica era regolata al 27%, consente di affermare che:

1. Al momento dell'incidente (circa 10min - 15min dall'inizio della distribuzione dell'ossigeno), all'interno della camera iperbarica la concentrazione in volume dell'ossigeno non poteva superare il valore del 27,5%, ma più verosimilmente era contenuta entro il 24%.
2. Il fatto che la soglia della sonda ossimetrica fosse stata regolata al valore del 27% dimostra come fosse usuale che nel corso di trattamenti iperbarici si superasse la concentrazione del 23,5%, considerata "sicura" dai massimi esperti internazionali; d'altra parte, se si assume che nel corso dei trattamenti il lavaggio fosse sempre di almeno 1500 l/min, il flusso disperso di ossigeno all'interno della camera iperbarica doveva essere almeno dell'ordine di 50 l/min - 100 l/min per giustificare, dopo 60 minuti di trattamento, il raggiungimento di una concentrazione di ossigeno del 25% - 26% e quindi spiegare il valore elevato della soglia di allarme.
3. Un così rilevante flusso disperso di ossigeno può essere spiegato unicamente dall'uso di un elevato numero di caschi, oltretutto modificati in modo tale da comprometterne in modo rilevante la tenuta e consentire la diffusione di ossigeno puro lungo il collo dei pazienti e di conseguenza l'intrusione degli abiti. Questo avvalorava l'ipotesi che, prima che la concentrazione di ossigeno all'interno della camera iperbarica potesse salire anche solo di uno o due punti percentuali, gli abiti dei pazienti che indossavano caschi fossero intrisi da ossigeno; quindi, nello spazio tra la cute dei pazienti e gli abiti e negli abiti stessi, la concentrazione di ossigeno poteva raggiungere valori anche molto elevati (60% - 80%), abbassando quindi enormemente l'energia richiesta per ottenere l'ignizione degli abiti stessi e giustificando una rapida propagazione della fiamma ai vestiti ed alla cute del paziente in caso di ignizione.

### 3.1.3 Condizionamento e controllo dell'umidità

La camera iperbarica verde era dotata sia all'interno che all'esterno di un indicatore di temperatura ambiente ed uno di umidità ambiente, ma non era presente alcun sistema di registrazione permanente di questi parametri; inoltre, nei verbali delle deposizioni dei testimoni non è possibile rilevare alcuna indicazione relativa al valore di umidità presente immediatamente prima dell'incidente. Di fatto, siccome mantenere un valore elevato di umidità relativa (superiore al 50%) serve principalmente per limitare o impedire inneschi dovuti ad elettricità statica, chi scrive ritiene che agli effetti della genesi dell'incendio causa del disastro il valore di umidità ambiente non sia stato rilevante.

La figura 9 riporta il dettaglio di ciò che resta dei misuratori di umidità relativa e temperatura presenti all'interno della camera iperbarica verde.



Figura 9 – misuratori di temperatura e di umidità relativa nella camera iperbarica verde dopo l'incidente.

#### 3.1.4 Comunicazione con l'esterno

La camera iperbarica verde era dotata di un sistema interfonico e di una telecamera in grado di riprendere l'interno della camera iperbarica nel corso del trattamento e presentare le immagini relative su di un monitor posto sul quadro di controllo. Il verbale della deposizione del figlio di una paziente trattata nella camera iperbarica azzurra dimostra come, al momento dello sviluppo dell'incendio, il monitor fosse regolarmente funzionante e si sia guastato subito dopo. Molto verosimilmente anche il sistema interfonico era funzionante, almeno sino al momento dell'incidente.

Considerate le caratteristiche costruttive del sistema video e dell'interfono, appare evidente come questi sistemi non possano essere stati causa diretta o concausa dell'incidente considerato e come il loro guasto nel corso dell'incendio non abbia compromesso, di fatto, le possibilità di portare soccorso agli occupanti. La figura 10 mostra i monitor di controllo della camera iperbarica verde, collegati a due videocamere posizionate all'esterno della camera di trattamento e del trasferimento, in corrispondenza di due oblò.

#### 3.1.5 Illuminazione

La camera iperbarica era illuminata da un insieme di lampade ad incandescenza poste all'esterno della stessa e la luce era portata all'interno da cilindri di materiale plastico che attraversano la parte superiore dello scafo in corrispondenza di opportune aperture. Una simile soluzione consente di tenere all'esterno della camera iperbarica l'impianto di illuminazione rendendo quindi impossibile che quest'ultimo possa costituire una sorgente di innesco. La figura 11 riporta il dettaglio di una apertura di illuminazione della camera iperbarica verde. Nel corso del sopralluogo effettuato da questo collegio peritale l'impianto di illuminazione era regolarmente funzionante. Si esclude comunque che l'impianto di illuminazione possa essere stato causa o concausa dell'incidente o che un suo malfunzionamento possa aver pregiudicato l'efficacia dei soccorsi.



Figura 10 – Monitor video inseriti nel quadro di controllo della camera iperbarica verde, collegati a due video camere posizionate all'esterno in corrispondenza degli oblò della sezione di trattamento e di quella di trasferimento.



Figura 11 – Particolare di un elemento illuminante costituito da un cilindro in materiale plastico (verosimilmente metacrilato) passante attraverso allo scafo attraverso ad una apposita apertura. Si noti come la plastica sia alterata in superficie ma non presenti segni evidenti di esposizione prolungata ad alte temperature.

### 3.1.6 Impianto elettrico

L'impianto elettrico a bordo della camera iperbarica era ridotto al minimo indispensabile, proprio nell'ottica di evitare cause di innesco. Anche un monitor utilizzato al fine di tenere sotto controllo l'ossigenazione di un paziente particolare nel corso del trattamento era posizionato all'esterno della camera iperbarica ed all'interno di questa erano disponibili unicamente i cavi collegati ai sensori da posizionare eventualmente sul paziente, portati all'interno della camera iperbarica attraverso due apposite aperture. La figura 12 A rappresenta il monitor alloggiato esternamente alla camera verde; la figura 12 B mostra l'ingresso dei cavi e dei collegamenti verso il paziente dall'interno della camera iperbarica dopo l'incidente; la figura 12 C mostra gli stessi passaggi dall'esterno. Anche in questo caso è interessante notare come il silicone (S) usato per sigillare il passaggio dei cavi e visibile in figura 12 C non sia assolutamente danneggiato dal calore sviluppatosi all'interno della camera iperbarica nel corso dell'incendio. D'altra parte, anche in figura 12 A è evidente come anche il tubo corrugato (C) non sia minimamente danneggiato dal calore.

Anche nel caso dell'impianto elettrico si può concludere che la probabilità che questo sia stato causa dell'innesco o comunque concausa dell'incidente è praticamente nulla.

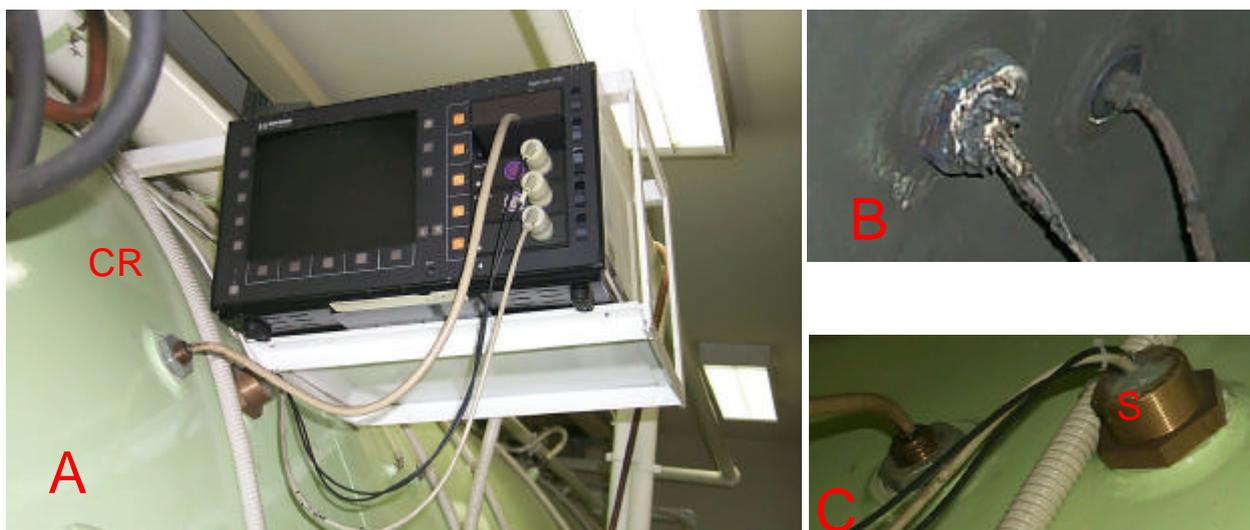


Figura 12 – A) Monitor alloggiato all'esterno della camera iperbarica verde; tubo corrugato in materiale plastico fissato alla parete esterna dello scafo (CR): non sono evidenti danni dovuti a surriscaldamento. B) vista interna dei passaggi dei cavi dal monitor esterno all'interno della camera verde. C) vista esterna degli stessi passaggi: all'esterno non c'è traccia di surriscaldamento.

### 3.1.7 Impianto antincendio

All'interno della camera iperbarica verde era presente un circuito idraulico dedicato all'impianto antincendio dotato di sprinkler per lo spegnimento "a pioggia" e di un attacco per una piccola lancia o doccetta da utilizzare per lo spegnimento di focolai di incendio – prima del verificarsi di un incendio esteso – o per lo spegnimento delle braci – al termine dell'attivazione dell'impianto di spegnimento a pioggia. All'interno della camera di trattamento erano presenti 12 sprinkler collegati ad un anello costituito da tubo zincato da 1" ed un attacco per la doccetta azionabile in modo indipendente dall'impianto di spegnimento a pioggia. All'interno della camera di trasferimento erano presenti

quattro sprinkler. La figura 13 mostra un particolare dell'impianto antincendio, che consiste in un tratto di tubo zincato del diametro di 1" (dipinto in rosso) e di uno sprinkler in ottone.



Figura 13 – Particolare di un lato dell'anello dell'impianto antincendio (rosso) ed uno sprinkler (SP), all'interno della camera iperbarica verde.

L'impianto idraulico era realizzato in modo da consentire l'attivazione dell'impianto a pioggia tanto dall'esterno quanto dall'interno della camera iperbarica, in modo separato per la camera di trattamento e quella di trasferimento.

La doccetta, che avrebbe dovuto essere presente all'interno del comparto di trattamento, avrebbe potuto essere attivata unicamente dall'interno ed in modo indipendente dall'attivazione dell'impianto di spegnimento a pioggia. Nel corso del sopralluogo, questo collegio peritale ha potuto constatare che la doccetta non era, al momento dell'incidente, disponibile all'interno del comparto di trattamento e che il relativo tubo dell'impianto antincendio terminava con la saracinesca che avrebbe dovuto consentirne l'attivazione. Questa situazione è rappresentata dalla figura 14, che mostra l'attacco della doccetta all'interno della camera iperbarica verde dopo l'incidente. Sempre nel corso del sopralluogo, questo collegio peritale ha avuto modo di constatare come la stessa grave mancanza fosse presente anche nella camera iperbarica azzurra: questa circostanza concorre a dimostrare come l'importanza dell'efficienza dell'impianto antincendio fosse sottovalutata; si sottolinea ancora che la doccetta è fondamentale, in quanto, in alcuni casi, può consentire di evitare l'attivazione dell'impianto a pioggia permettendo all'operatore interno di spegnere piccoli inizi di incendio, mentre in altri la doccetta potrebbe consentire lo spegnimento di braci non raggiunte in maniera sufficiente dall'acqua erogata dall'impianto a pioggia. Le norme statunitensi, contenute nel capitolo 19 del codice NFPA 99, impongono sempre la presenza della doccetta e sottolineano che questa non può assolutamente essere sostituita da un eventuale estintore, sebbene omologato per essere utilizzato in camera iperbarica: quest'ultimo, infatti, è certamente molto meno maneggevole della prima.

La mancanza della doccetta è una anomalia rilevabile tramite la semplice osservazione dell'impianto antincendio: ci si chiede perché, tanto il personale medico di servizio nel reparto quanto il personale tecnico addetto alla manutenzione ed alle verifiche periodiche, non abbiano provveduto rispettivamente a segnalare una evidente situazione di pericolo ed a porre rimedio alla stessa.



Figura 14 – particolare del tubo e della saracinesca di attivazione della doccetta, che però è evidentemente assente. La saracinesca, realizzata mediante una valvola a sfera da ½”, è nella posizione di chiusura.

Come prescritto dal codice 99 della NFPA, l'acqua necessaria all'attivazione dell'impianto di spegnimento deve poter essere disponibile anche in caso di guasto della rete idrica o della rete elettrica. Al fine di rispettare questa condizione, tipicamente l'acqua necessaria viene immagazzinata in un recipiente di dimensioni opportune e messa in pressione mediante aria compressa contenuta in una bombola; al bisogno, l'aria compressa immessa nella parte alta del contenitore dell'acqua fornisce l'energia necessaria per spingere l'acqua nell'impianto antincendio con una adeguata pressione. La figura 15 rappresenta schematicamente il sistema di immagazzinamento e propulsione dell'acqua che alimentava gli impianti antincendio tanto della camera verde quanto dell'azzurra.

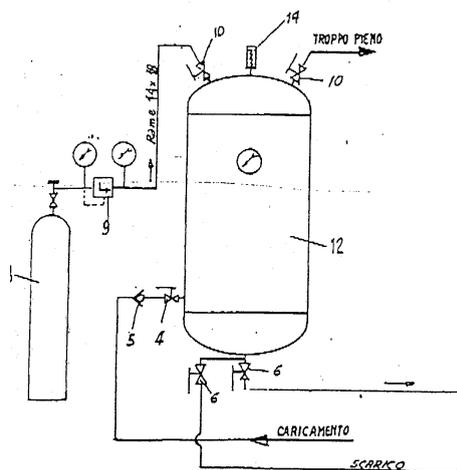


Figura 15 – Rappresentazione schematica della sezione di alimentazione dell'impianto antincendio delle camere iperbariche verde ed azzurra (tratto dai disegni del costruttore).



Figura 16 - A) Serbatoio dell'acqua dell'impianto antincendio (SA) da 500 l, bombola da 50 l (200 bar) di aria compressa e tubo di caricamento dell'acqua (TC); B) Particolare dei manometri a monte ed a valle del riduttore di pressione inserito sulla bombola ad aria compressa: si noti come gli indici di entrambi siano a zero quando la valvola di apertura della bombola è nella posizione nella quale è stata trovata nel corso del sopralluogo eseguito dal primo collegio peritale (Bardazza et al.) dopo l'incidente; C) Manometro che indica la pressione presente nel serbatoio dell'acqua: anche in questo caso l'indice è sullo zero.

La figura 16 A illustra il serbatoio dell'acqua dell'impianto antincendio – del volume di 500 l – la bombola di aria compressa usata come propellente – del volume di 50 l e con pressione nominale di 200 bar – ed il tubo di carico del serbatoio dell'acqua.

La figura 16 B illustra i manometri a monte ed a valle del riduttore di pressione della bombola di propellente: entrambi gli indici sono sullo zero, ad indicare che la valvola di chiusura della bombola è nella posizione “chiuso”; i segni rossi sul rubinetto della bombola sono stati fatti dal primo collegio peritale, ad indicare la posizione nella quale è stato trovato il rubinetto della bombola stessa nel corso del sopralluogo che ha seguito l'incidente. Ne segue che, al momento dell'incidente, la bombola di propellente era chiusa, come evidentemente indicato dai due manometri. Anche in questo caso sarebbe stata sufficiente l'osservazione dei manometri per accorgersi del fatto che, anche in caso di bisogno, la bombola di propellente non avrebbe potuto operare. Il riduttore di pressione era tarato in modo da fornire all'uscita una pressione di 12 bar.

La figura 16 C mostra che il manometro che misura la pressione all'interno del serbatoio dell'acqua ha l'indice sullo zero. Anche in questo caso l'osservazione del manometro sarebbe stata sufficiente per poter dedurre che l'impianto antincendio non avrebbe potuto, in caso di bisogno, funzionare.

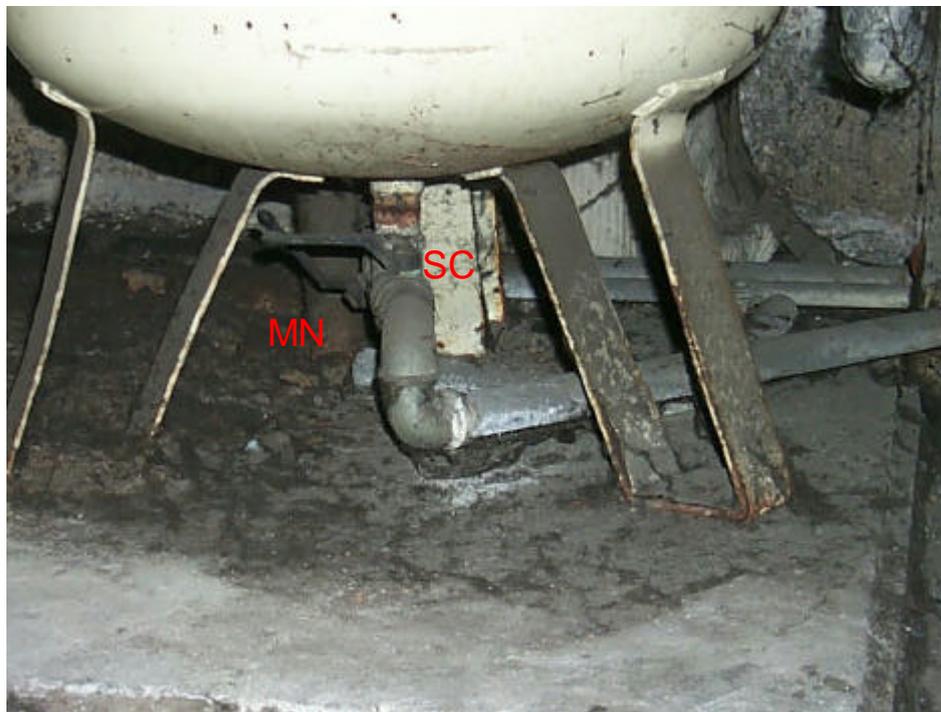


Figura 17 – Particolare delle saracinesche (valvole a sfera da 1”) di scarico (SC) e di mandata (MN) dell'impianto antincendio, entrambe chiuse. Qualora anche il serbatoio fosse stato pieno d'acqua e la bombola di aria compressa propellente attiva, l'acqua non avrebbe potuto comunque uscire dal serbatoio.

La figura 17 mostra la posizione delle saracinesche dello scarico del serbatoio e di mandata dell'acqua nell'impianto antincendio: entrambe le valvole a sfera sono chiuse. Questa condizione è corretta per la saracinesca di scarico, mentre è ovviamente errata per la saracinesca di mandata che dovrebbe essere aperta al fine di poter alimentare l'impianto antincendio.

Si è discusso molto in sede di dibattito sulle caratteristiche geometriche, fisiche, di funzionamento e strumentali dell'impianto di spegnimento. Per questo motivo si è ritenuto utile, con uno specifico sopralluogo effettuato il 13 settembre 2001, fissare alcuni punti.

- 1) L'impianto corrisponde a quello schematizzato dai consulenti del P.M. nella loro relazione tecnica.
- 2) Lo schema di dettaglio è riportato dalla figura 18.
- 3) Le dimensioni geometriche della pedana piana sono di 3,6 m x 1 m; la dimensione della barra di supporto dei sedili è di 2,9 m con i fori degli assi dei sedili praticati a distanza di 20 cm dalla estremità e distanti tra loro di 50 cm. Si ritiene ragionevole valutare la superficie da investire con l'impianto a diluvio pari a 3 m<sup>2</sup>.

- 4) Nel caso della camera iperbarica in argomento risulterebbe non corretto calcolare l'ampiezza della pedana in funzione del raggio della camera. Tale indicazione riportata nella nota n° 2 al punto 19.2.5.2.3 della norma N.F.P.A.99 serve espressamente per consentire un calcolo convenzionale della superficie da investire con i getti degli sprinkler quando un vero pavimento non è applicato.
- 5) Gli sprinkler sono del tipo di quelli contrassegnati con la sigla BCW2100xx di diametro pari ad un pollice.
- 6) Gli sprinkler erano stati scelti e posizionati in corretto rapporto con il numero e la posizione degli occupanti.
- 7) Era possibile realizzare un diverso sviluppo dell'impianto ed applicare sprinkler diversi.

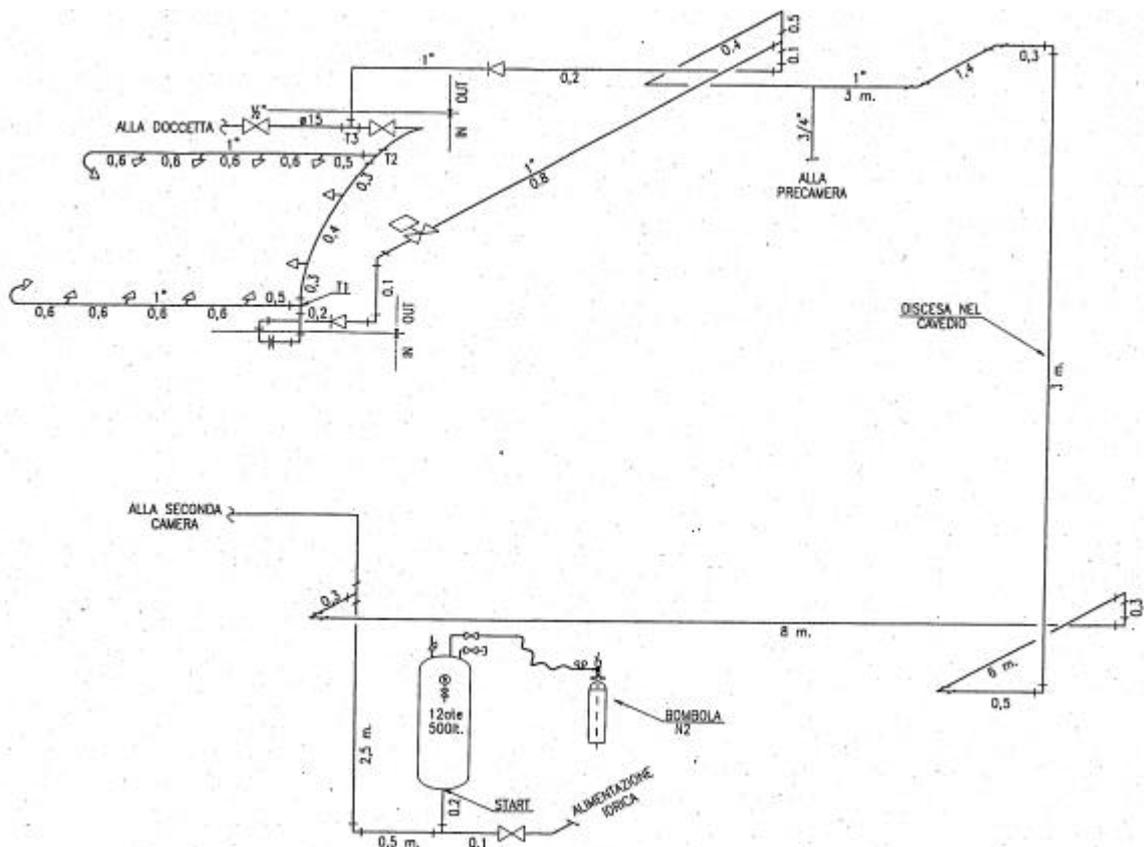


Figura 18 – Schema dell'impianto di spegnimento elaborato a seguito del sopralluogo del 13 settembre 2001.

In base ai dati riportati sono stati eseguiti calcoli per determinare la portata degli sprinkler, ottenendo i seguenti risultati:

- a) Con il layout esistente, riportato in figura 18, ipotizzando una pressione di 10 bar nell'autoclave, si sarebbe avuta una portata complessiva dei dodici sprinkler di 152,7 l/min pari ad una portata specifica per unità di superficie della pedana di 50,9 l/min m<sup>2</sup>; ipotizzando una pressione di 11,5 bar in autoclave (consentita) si sarebbe raggiunta una portata specifica di 54,7 l/min m<sup>2</sup>.

- b) Sarebbe stato possibile, volendo, ottenere portate specifiche superiori con soluzioni immediate di diversa natura (modifiche del layout, sostituzione degli sprinkler, applicazione di più sprinkler).

In conclusione, per quanto riguarda l'impianto antincendio si può affermare che:

1. Portata impianto antincendio: la normativa USA indica in 81,5 l/m<sup>2</sup> min la portata minima dell'acqua irrorata dagli sprinkler. Sembra ragionevole presumere che la norma intenda fornire una indicazione che assicuri l'efficacia dell'intervento nelle condizioni più impegnative. Il dimensionamento dell'impianto della camera "verde" era stato fatto tenendo conto di un valore che, seppur inferiore a quello indicato dal codice 99 della NFPA, è ritenuto da alcuni esperti nazionali ed internazionali come sufficiente a garantire una azione efficace dell'impianto antincendio. Ad esempio, le linee guida pubblicate dal Ministero della Sanità, dalla Regione Lombardia, dalla Regione Veneto, dalla Regione Toscana, seppure con dizioni diverse, consentono portate di 50 l/m<sup>2</sup> min.
2. Il numero, la posizione, le caratteristiche degli sprinkler e degli altri elementi dell'impianto avrebbero consentito di raggiungere portate superiori installando un diverso modello di sprinkler e posizionando diversamente l'autoclave rispetto alla camera iperbarica, in modo da eliminare metri di tubazione inutile e un numero elevato di curve.
3. Le prove effettuate dal collegio dei consulenti del P.M. presso la ditta Drass Galeazzi di Zingonia dimostrano che, in condizioni più severe di quelle ipotizzate come condizioni di innesco nel caso di specie, l'intervento del getto d'acqua con la doccia è assolutamente efficace per spegnere il focolaio di incendio e che lo spegnimento con l'intervento degli sprinkler si realizza in tempi molto rapidi e con consumi di acqua molto ridotti.
4. L'impianto antincendio al momento dell'incidente non era funzionante, in quanto: I) mancava acqua nel serbatoio; II) la saracinesca del tubo di mandata posta in prossimità del serbatoio era chiusa; III) il rubinetto della bombola di aria compressa propellente era chiuso.
5. Sebbene il serbatoio dell'acqua fosse predisposto per l'applicazione del tubo per il controllo di livello, questo non era installato e le prese relative erano tappate.
6. All'interno della camera iperbarica non era disponibile la doccetta attivabile manualmente, che avrebbe potuto consentire lo spegnimento tempestivo di un focolaio d'innesco.
7. Il personale sanitario addetto alle camere iperbariche sottovalutava il pericolo di incendio all'interno della camera iperbarica, tanto da non curarsi dell'efficienza dell'impianto antincendio.
8. Il personale addetto alla manutenzione non aveva alcuna familiarità con l'impianto antincendio in questione (cfr. verbali delle deposizioni del signor Beretta) ed evidentemente non ne ha mai curato la manutenzione.
9. Tutte le cause dell'inefficienza dell'impianto antincendio avrebbero potuto essere rilevate "a vista", senza l'uso di strumenti di misura; porre rimedio alle situazioni anomale non avrebbe richiesto alcuna operazione più complessa dell'aprire una saracinesca o collegare la doccetta o la lancia a mano all'attacco relativo, operazioni eseguibili certamente da un qualunque idraulico.

## 4. Misure di prevenzione tecniche, organizzative e procedurali

Da un esame della documentazione ricevuta, relativa al procedimento 1489/98, emergono le seguenti inosservanze in relazione agli obblighi derivanti dal disposto degli artt. 3 e 4 del D.Lgs. 626/94:

- aver effettuato una valutazione dei rischi assolutamente insufficiente con particolare riferimento al rischio di incendio nelle camere iperbariche, del tutto sottovalutato;
- aver adottato misure di prevenzione e protezione inadeguate secondo i parametri della fattibilità tecnologica del momento;
- non aver dotato l'istituto delle misure di prevenzione e protezione contro l'incendio efficienti e idonee rispetto alla natura e ai ritmi dell'attività svolta nel reparto di ossigenoterapia;
- aver consentito i trattamenti con i misuratori della percentuale di ossigeno tarati oltre il 23,5 %;
- aver tollerato che il sistema antincendio fosse fuori uso;
- aver omesso di impartire, personalmente o per il tramite del personale medico, tecnico o infermieristico o per mezzo di adeguati cartelli informativi, le dovute istruzioni ai pazienti nonché non aver assicurato, mediante i necessari controlli, che le prescrizioni medesime venissero rispettate;
- aver trascurato la necessaria formazione del personale tecnico ed infermieristico sul funzionamento dei sistemi antinfortunistici ed in particolare sull'utilizzo del sistema antincendio;

Per poter meglio comprendere i criteri con cui devono essere individuate le misure di prevenzione e protezione oggetto del quesito, appare indispensabile premettere una sintetica analisi della normativa antecedente il D.Lgs. 626/94 che, pur essendo nata nel 1955-56, per la maggior parte è ancora attualmente in vigore.

La prima caratteristica di tale normativa è che in essa si è cercato di procedere, preliminarmente, ad una individuazione delle situazioni di rischio relative a tutte le lavorazioni, impianti, attrezzature ed ambienti di lavoro di ogni comparto produttivo (norme a contenuto generico); successivamente, per ognuna di esse, sono state prescritte le misure di prevenzione e protezione da adottare per eliminare o ridurre i rischi stessi (norme a contenuto specifico).

Le analisi statistiche/epidemiologiche effettuate negli anni successivi hanno dimostrato che le cause di accadimento degli infortuni e delle malattie professionali vanno ricercate non solo nella mancanza di sicurezza e/o delle condizioni igienico/ambientali degli ambienti di lavoro e delle attrezzature ed impianti (fattori di natura oggettiva), ma anche nella mancanza di preparazione ed addestramento professionale e di conoscenza dei rischi presenti nel proprio ambiente di lavoro (fattori di natura soggettiva).

Tutto ciò per mettere in evidenza che le suddette normative hanno fondamentalmente preso in considerazione la cosiddetta prevenzione oggettiva a scapito della prevenzione soggettiva o, per meglio dire, prevenzionale.

Tale impostazione ha indotto, da un lato, una mancanza di sensibilità dei datori di lavoro a programmare e organizzare forme di informazione e formazione dei lavoratori e, dall'altro, ha indotto nei lavoratori una forma di atteggiamento passivo nei confronti della prevenzione e della sicurezza,

ingenerando una sorta di delega nei confronti di chi era stato individuato, vuoi come dirigente o preposto, a tutelare la loro salute.

Occorre anche rilevare che, sia pure in un ambito di prevenzione oggettiva, anche la normativa del 1955-56 era orientata al raggiungimento della massima sicurezza tecnologicamente fattibile; infatti, sia nelle norme specifiche che in quelle generali, si dispone che le misure di protezione siano adeguate ed idonee ai fini della sicurezza.

La normativa comunitaria, prima con il D.Lgs. 277/91 poi con il D.Lgs. 626/94, non solo ha previsto norme che impongono al datore di lavoro di procedere, innanzitutto, ad una valutazione dei rischi presenti nell'ambiente di lavoro, ma definisce con chiarezza l'obiettivo di trasformare i lavoratori da soggetti passivi in artefici della prevenzione, imponendo al datore di lavoro, avvalendosi della collaborazione del Servizio di Prevenzione e Protezione, l'obbligo di promuovere ed organizzare in maniera programmatica, tramite l'informazione e la formazione, una vera cultura della prevenzione.

Nell'art. 3 del D.Lgs. 626/94 sono enunciati i criteri generali di tutela con cui devono essere programmate le misure di prevenzione e protezione a difesa della salute e della sicurezza dei lavoratori.

Nell'attuale contesto il datore di lavoro non è più obbligato ad imporre il rispetto delle norme (disporre ed esigere dei precedenti artt. 4) ma richiedere la loro osservanza attraverso l'organizzazione di un sistema di prevenzione che, dopo aver provveduto ad informare e formare i lavoratori, li coinvolga come soggetti attivi nell'attuazione delle misure di prevenzione e protezione.

Infatti, l'art. 3 del D. Lgs. 626/94 non si limita ad indicare analiticamente le misure generali per la protezione della salute e per la sicurezza dei lavoratori ma individua anche, nei seguenti punti, i criteri generali da seguire nella predisposizione delle stesse e nell'organizzazione delle attività prevenzionali:

- a) valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza;
- b) eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non è possibile, loro riduzione al minimo;
- c) riduzione dei rischi alla fonte;
- d) programmazione della prevenzione mirando ad un complesso che integra in modo coerente nella prevenzione le condizioni tecniche produttive ed organizzative dell'azienda nonché l'influenza dei fattori dell'ambiente di lavoro;
- e) sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è, o è meno pericoloso;
- f) rispetto dei principi ergonomici nella concezione dei posti di lavoro, nella scelta delle attrezzature e nella definizione dei metodi di lavoro e produzione, anche per attenuare il lavoro monotono e ripetitivo;
- g) priorità delle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale;
- h) limitazione al minimo del numero dei lavoratori che sono, o che possono essere, esposti al rischio;
- i) utilizzo limitato degli agenti chimici, fisici e biologici, sui luoghi di lavoro;
- j) controllo sanitario dei lavoratori in funzione dei rischi specifici;
- k) allontanamento del lavoratore dall'esposizione a rischio, per motivi sanitari inerenti la sua persona;
- l) misure igieniche;
- m) misure di protezione collettiva ed individuale;

- n) misure di emergenza da attuare in caso di pronto soccorso, di lotta antincendio, di evacuazione dei lavoratori e di pericolo grave ed immediato;
- o) uso di segnali di avvertimento e di sicurezza;
- p) regolare manutenzione di ambienti, attrezzature, macchine ed impianti, con particolare riguardo ai dispositivi di sicurezza in conformità alle indicazioni dei fabbricanti;
- q) informazione, formazione, consultazione e partecipazione dei lavoratori ovvero dei loro rappresentanti, sulle questioni riguardanti la sicurezza e la salute sul luogo di lavoro;
- r) istruzioni adeguate ai lavoratori.

In sostanza, indica un criterio fondamentale secondo cui il sistema di prevenzione deve essere finalizzato a raggiungere la massima sicurezza attuabile e ad eliminare o ridurre i rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico.

#### **4.1 La valutazione dei rischi**

Come modalità di approccio, il legislatore richiede che preliminarmente debba essere effettuata la valutazione dei rischi; pare ovvio che nessun sistema di misure prevenzionali può essere attuato senza aver una conoscenza dei pericoli e del grado della loro entità.

Senza una valida valutazione dei rischi, non può essere possibile programmare la prevenzione e quindi stabilire una scala di priorità degli interventi mirati a eliminare o ridurre i rischi rilevati, ad iniziare da quelli più gravi. Né sarebbe possibile definire, secondo quanto richiesto dal 2° comma, lettera c), dell'art.4, il programma delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza.

E' altrettanto certo che l'autonomia valutativa attribuita al datore di lavoro non gli può permettere di ignorare i rischi non valutati o parzialmente valutati; gli obblighi prevenzionali devono comunque essere assolti. La valutazione, in effetti, ha lo scopo di permettere al datore di lavoro e ai dirigenti responsabili dell'azienda di adeguare costantemente, attraverso una efficace programmazione, le strutture, gli impianti e le attrezzature ai parametri di sicurezza imposti dalla legge. Paradossalmente, una valutazione dei rischi inidonea, a cui però segue l'adozione di efficaci misure di prevenzione e protezione, non rende, nella sostanza, il datore di lavoro passibile di sanzioni.

Con il secondo quesito il collegio giudicante ha chiesto ai consulenti se, e in che misura, sulla base di una corretta ed efficace individuazione dei pericoli connessi all'esercizio della camera iperbarica in argomento siano stati adottati provvedimenti di prevenzione protezione, emergenza, gestione tali da rendere compatibile il rischio connesso allo sviluppo di un incendio.

Per rispondere a questo quesito si ritiene opportuno rappresentare, in premessa, il significato proprio dei concetti di rischio, analisi e valutazione del rischio e dare alcune essenziali indicazioni su metodi e procedure ormai classiche di una corretta analisi dei rischi nella strategia di prevenzione fatta propria dal D.Lgs. 626 /94 .

4.1.1 L'analisi e valutazione dei rischi nella strategia di prevenzione introdotta dal D.Lgs.626/94: dai concetti di pericolo- sicurezza ai concetti di rischio e valutazione del rischio tollerabile

L'attuale strategia di prevenzione della salute nei luoghi di lavoro, legittimata e cristallizzata dalle direttive comunitarie prima, a dai relativi decreti di recepimento dopo, poggia su due idee chiave interdipendenti e complementari.

La prima, di carattere socio economico, secondo la quale lo sviluppo economico, la stessa stabilità di un sistema sono legate al suo sviluppo tecnologico alla sua capacità di modernizzazione. La seconda è la centralità dell'uomo, la sua sacralità, il non eludibile, non alienabile diritto dovere alla vita e alla salvaguardia della salute.

Lo sviluppo industriale fattore primo di sviluppo economico deve allora essere reso possibile, essere stimolato e favorito, perché foriero di avanzamento economico e sociale, ma deve essere controllato in modo da risultare compatibile con la salvaguardia della vita e della incolumità delle persone che possono essere poste in pericolo da quello sviluppo. Questa esigenza di sviluppo compatibile con la salvaguardia della vita e della salute delle persone si è posta, e si pone, in modo particolarmente evidente per le industrie e per gli insediamenti nei quali il processo in essi condotto ha in sé fattori specifici di pericolo.

L'adeguamento della strategia di prevenzione a queste idee spinta hanno determinato una profonda radicale trasformazione del sistema prevenzionale introdotta in Italia, a partire dalla seconda metà degli anni ottanta, con interventi normativi di derivazione comunitaria che fanno cambiare fisionomia all'intera disciplina.

Per il settore di cui stiamo trattando le disposizioni sono quelle contenute nel D.Lgs.626/94 relativo ai requisiti minimi di sicurezza da adottare nei luoghi di lavoro che impone, all'articolo, 4 l'obbligo di procedere ad effettuare la *“valutazione dei rischi per la sicurezza e per la salute dei lavoratori connessi alle attrezzature e alle sostanze”* e più avanti *“le misure di prevenzione e protezione e dei dispositivi di protezione individuale da adottare devono essere conseguenti all'analisi dei rischi effettuata”*.

Disposizioni e principi peraltro prima espressi nel D.P.R. 175 del 1988 che, anticipando i concetti interamente ripresi dal D.Lgs 626/94, imponeva l'obbligo di :

- individuare i pericoli
- adottare le adeguate misure di sicurezza

Questo provvedimento che riguarda le industrie con pericolo di incidente rilevante viene qui citato a ragion veduta per due motivi. Il primo: la funzione anticipatrice da esso svolta, oltre sei anni prima e con nove anni di ritardo rispetto alla Direttiva Europea di riferimento, rispetto al D. Lgs 626/94, sul significato dei nuovi concetti. Il secondo: un incidente dal quale può derivare la perdita della vita di 12 persone deve essere considerato un incidente rilevante. A tale pericolo avrebbero dovuto essere applicati tutti gli studi, le cautele, gli interventi di carattere preventivo, protettivo, di emergenza e gestionale che è opportuno adottare per tenere sotto controllo i pericoli di incidenti rilevanti.

Per concludere il processo di Analisi e Valutazione dei Rischi si sviluppa secondo queste fasi:

- Individuazione dei pericoli e degli incidenti possibili
- Determinazione dei danni possibili e prevedibili
- Scelta dei provvedimenti adeguati al danno prima definito
- Valutazione di compatibilità del rischio residuo

- Scelta e applicazione delle misure idonee a tenere sotto controllo il rischio residuo. Misure e provvedimenti di informazione, formazione, addestramento, controllo e test periodici, manutenzione programmata (gestione della sicurezza)

Tutti i provvedimenti di prevenzione, protezione, emergenza, gestione devono essere rapportati – adeguati al potenziale danno che può derivare dal verificarsi del potenziale incidente ipotizzato.

### Il metodo corretto di effettuare l'analisi e valutazione dei rischi

Nel caso dell'impianto di ossigenoterapia di cui si tratta e in riferimento all'ipotesi di sviluppo di incendio, negli atti consultati non c'è traccia di una corretta analisi dei rischi. In relazione a questa specifica ipotesi emerge anche una scarsa consapevolezza del significato dell'analisi e valutazione dei rischi in termini di contenuto e di procedure da adottare. Carenza resa evidente anche dal fraintendimento del significato dei termini adottati. Fraintendimento che sarà evidenziato nel seguito e per cui si ritiene utile riportare in premessa alcune corrette definizioni.

#### ***Pericolo (Hazard)***

Una caratteristica del processo o dell'impianto che può costituire potenziale fonte di incidente. Può essere inteso anche con riferimento alla combinazione del pericolo rappresentato dai materiali e sostanze, presenti o usate nell'impianto, con quello rappresentato dalle condizioni di funzionamento dello stesso. Il pericolo è quindi rappresentato da una situazione, o combinazione di situazioni, tali che, determinati eventi, che nelle condizioni normali non si devono verificare, qualora si dovessero determinare, condurrebbero ad un incidente con conseguenze non desiderate.

#### ***Incidente***

Specifico evento, o sequenza di eventi, che non rientrano nelle condizioni di funzionamento volute, che possono condurre ad una specifica conseguenza incidentale.

#### ***Evento***

Avvenimento, accadimento, un fatto, una modificazione della realtà oggettiva, o della funzionalità dell'impianto, che darà origine ad una anomalia del sistema. Esso può riguardare il funzionamento di una apparecchiatura, la variazione di certi parametri, un'azione umana o un avvenimento dovuto a cause esterne. La loro caratteristica è comunque quella di determinare un'anomalia. In questo ambito si prendono in considerazione gli eventi che possono dar luogo ad un incidente, sia come causa diretta o come concausa. Sono definiti eventi anche gli accadimenti che si verificano come risposta all'evento iniziale.

#### ***Evento Iniziale***

Il primo evento dal quale si origina la catena di accadimenti che, se si dovesse sviluppare senza interventi che interrompano la catena, porterebbe al verificarsi dell'incidente.

#### ***Evento Intermedio***

Un evento, facente parte di una successione di eventi, che contribuisce alla propagazione della catena che porta all'incidente o contribuisce a prevenirlo o a limitarne le conseguenze.

### ***Evento Esterno***

Azione esterna al sistema, come sisma, inondazione, interruzione dei servizi (elettricità, acqua, aria di processo, ecc.).

### ***Conseguenza***

Il risultato di una sequenza di eventi incidentali. Nel nostro ambito può essere rappresentato da uno scoppio un incendio, un rilascio di sostanze tossiche.

### ***Danno***

E' il risultato di un incidente stimato in termini di danno all'uomo, all'ambiente o di perdite economiche.

### ***Frequenza***

Numero di accadimenti per unità di tempo di un determinato evento, o, in un riferimento diverso, la frequenza relativa prevista, di successo o insuccesso, di un determinato intervento.

### ***Probabilità***

La stima della previsione del numero di eventi che possono manifestarsi o frequenza attesa di un evento.

### ***Rischio***

Grandezza indice di stato che intende dare una misura del possibile danno, conseguente ad un incidente, espressa in funzione di due parametri: le perdite calcolate in termini economici o di nocimento alle persone, all'ambiente o alle cose provocate, da un incidente, e la probabilità del verificarsi dell'evento ultimo che produce quel danno.

### ***Sistema di Controllo – Regolazione - Sicurezza***

Insieme dei fattori specifici e intrinseci, dovuti alle caratteristiche costruttive (hardware) del complesso degli strumenti, apparecchiature, procedure, progettate per mantenere i parametri di funzionamento dell'impianto entro i valori previsti in progetto o per determinare interventi che in caso di malfunzionamento impediscano che si pervenga all'incidente o ne limitino gli effetti.

### ***Identificazione dei Pericoli***

Processo messo in atto per studiare il sistema in modo da rilevare ed evidenziare tutti i pericoli ad esso connessi.

### ***Misura del Rischio***

Formulazione della combinazione dei dati ottenuti in ordine alla stima dei danni e alle probabilità di accadimento dell'incidente collegato che consenta di dare una misura del rischio.

### ***Valutazione del Rischio***

Giudizio sul valore ottenuto della funzione rischio. Processo attraverso il quale i risultati di una analisi del rischio vengono usati o per prendere decisioni, o per effettuare una classificazione del rischio ed elaborare strategie di riduzione di esso o per fare confronti con i rischi di riferimento (rischio obiettivo, rischio accettabile).

### ***Rischio accettabile (tollerabile)***

"Valore di riferimento", basato sui criteri di analisi e valutazione del rischio prima detti, o "valore guida" utilizzato come obiettivo da conseguire.

### ***Rischio Individuale***

Il rischio rapportato alle persone esposte perché vicine al pericolo. Esso include la valutazione del danno o dell'infortunio possibile, la probabilità che quel danno possa essere arrecato e l'intervallo di tempo preso in considerazione. È la probabilità o la frequenza attesa di danno, riferita ad una persona, a seguito di un determinato incidente.

### **Le fasi di vita di un impianto e le analisi dei pericoli**

L'individuazione dei pericoli, l'analisi e valutazione dei rischi finalizzata alla sicurezza è un processo di studio che deve riguardare l'intero ciclo di vita dell'impianto. Dal concepimento alla progettazione di massima, dalla progettazione di dettaglio alla scelta dei componenti alla realizzazione, alle prove di avviamento alla gestione alla manutenzione. Nello schema riportato in figura 19 si fornisce la successione di fasi nel ciclo di vita di un progetto. A ogni fase va accoppiata una coerente fase di valutazione e verifica di sicurezza.

#### 4.1.2 Sviluppo del processo di individuazione dei pericoli e valutazione dei rischi.

Gestire i pericoli connessi con determinate attività significa essere in condizione di sapere, in ogni momento e nelle varie fasi di vita di un impianto, quali pericoli sono ad esso connessi, quali anomalie, malfunzionamenti, carenze di progettazione o gestione dell'impianto possono dare origine ad un percorso incidentale, come si sviluppa quali conseguenze si possono determinare, di quale entità, quali danni possono derivarne, qual è la probabilità che l'incidente si verifichi, stimare il rischio e riportare il rischio stimato al rischio giudicato tollerabile. Lo sviluppo della comprensione di quelle situazioni richiede che si sia in grado di rispondere in ogni momento alle domande: Cosa può accadere? Con che frequenza? Con quali risultati? Questo concetto è illustrato dalla figura 20.

Nella figura 21, suddivisa per comodità su due pagine (figura 21/1 e figura 21/2) è illustrata, in modo dettagliato, la strategia di conduzione dell'analisi e valutazione dei rischi per i casi più complessi.

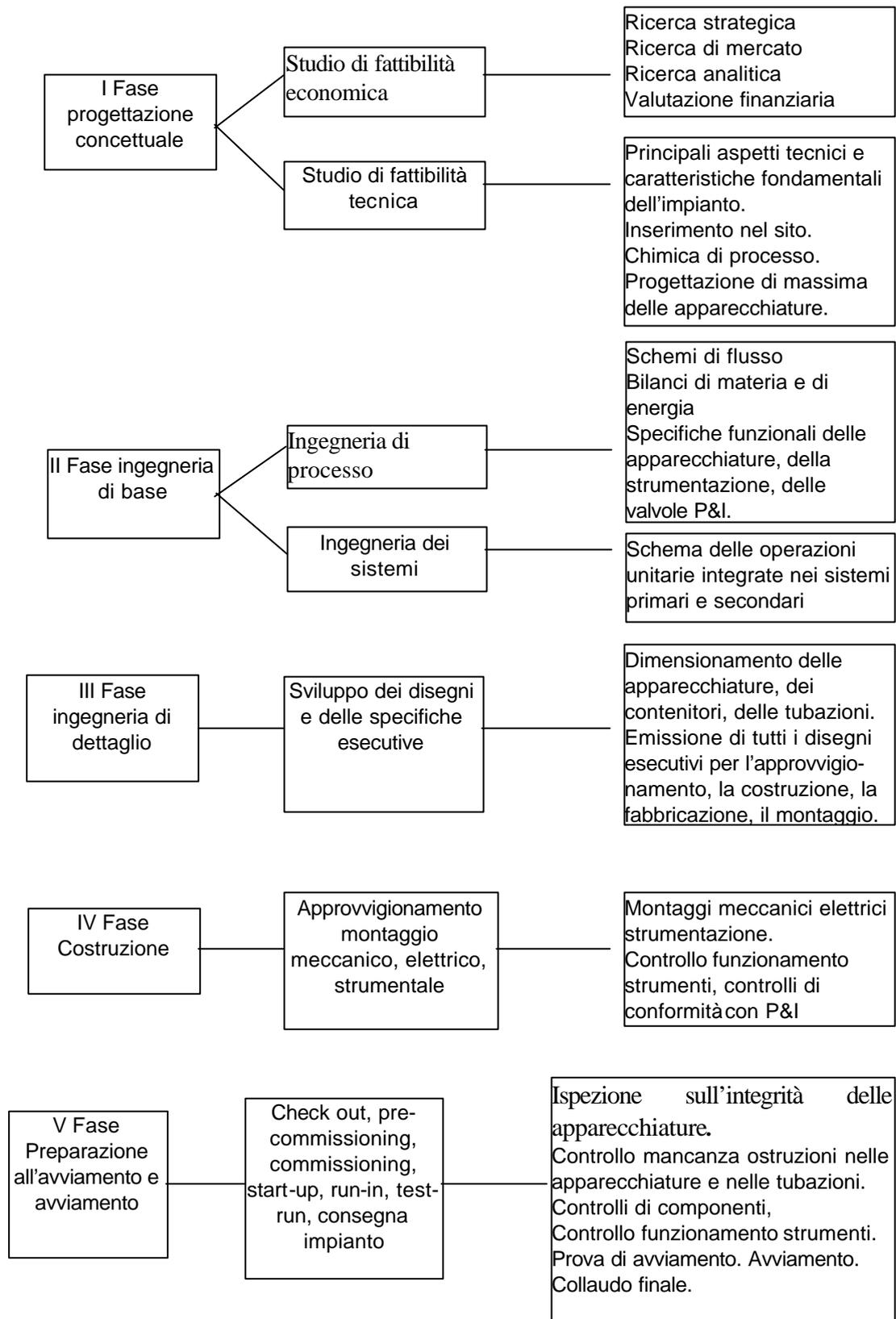


Figura 19 – Esempio di successione delle fasi nel ciclo di vita di un progetto

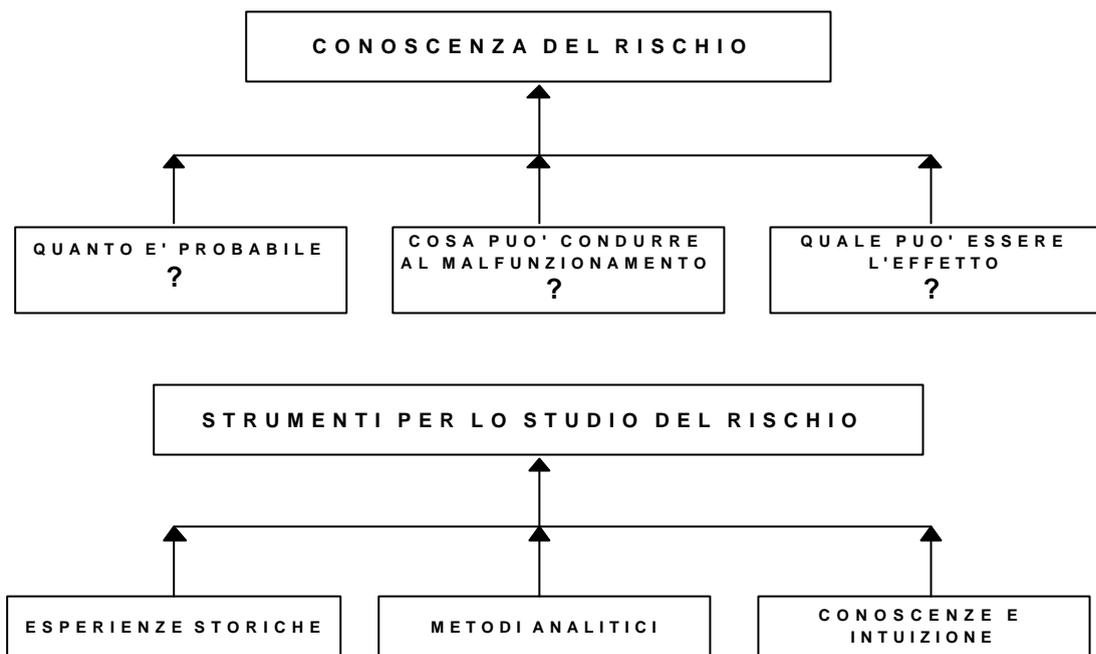


Figura 20 – Criteri per la valutazione del rischio

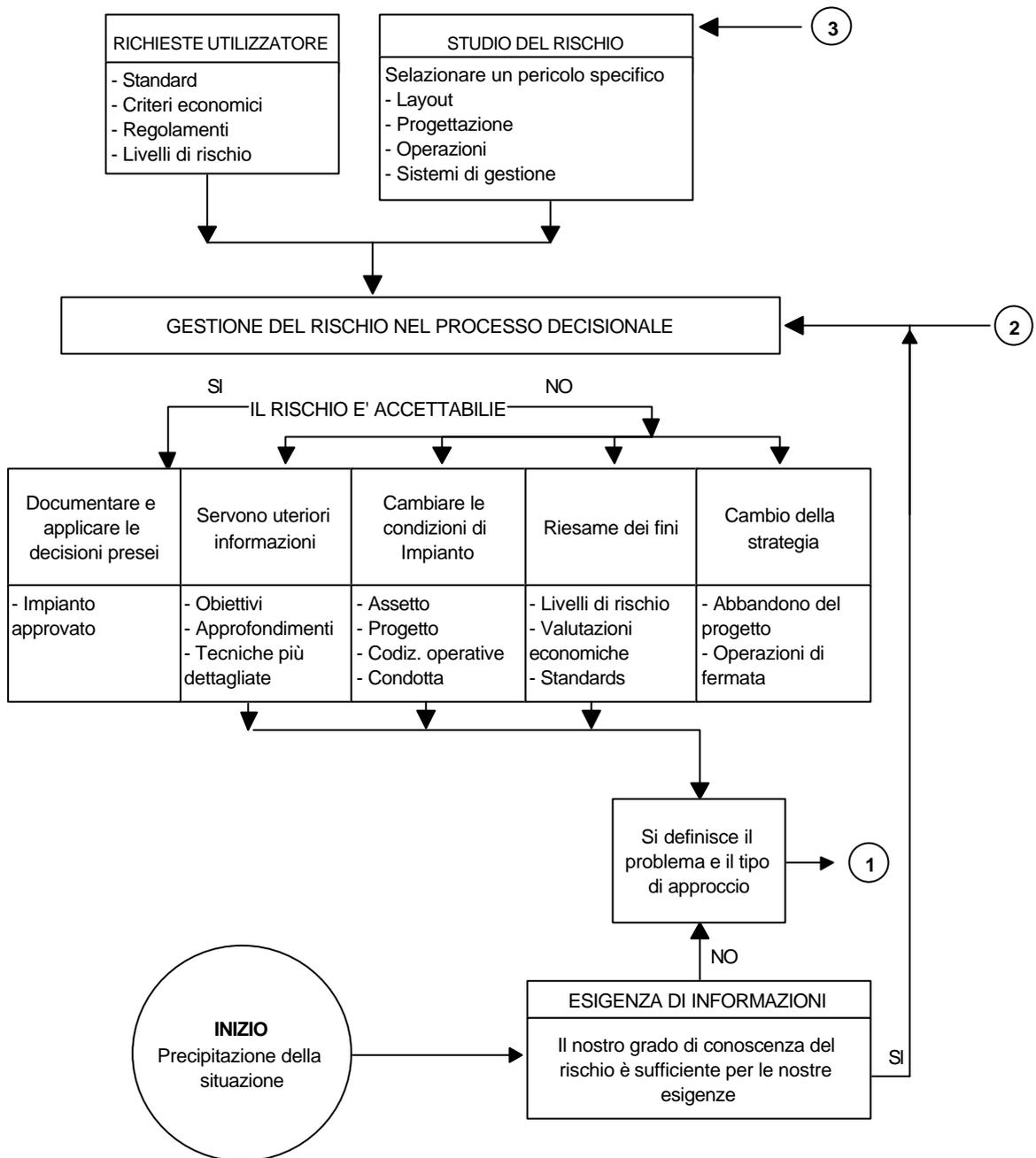


Figura 21/1 - Strategia di analisi e valutazione dei rischi da utilizzare in casi complessi

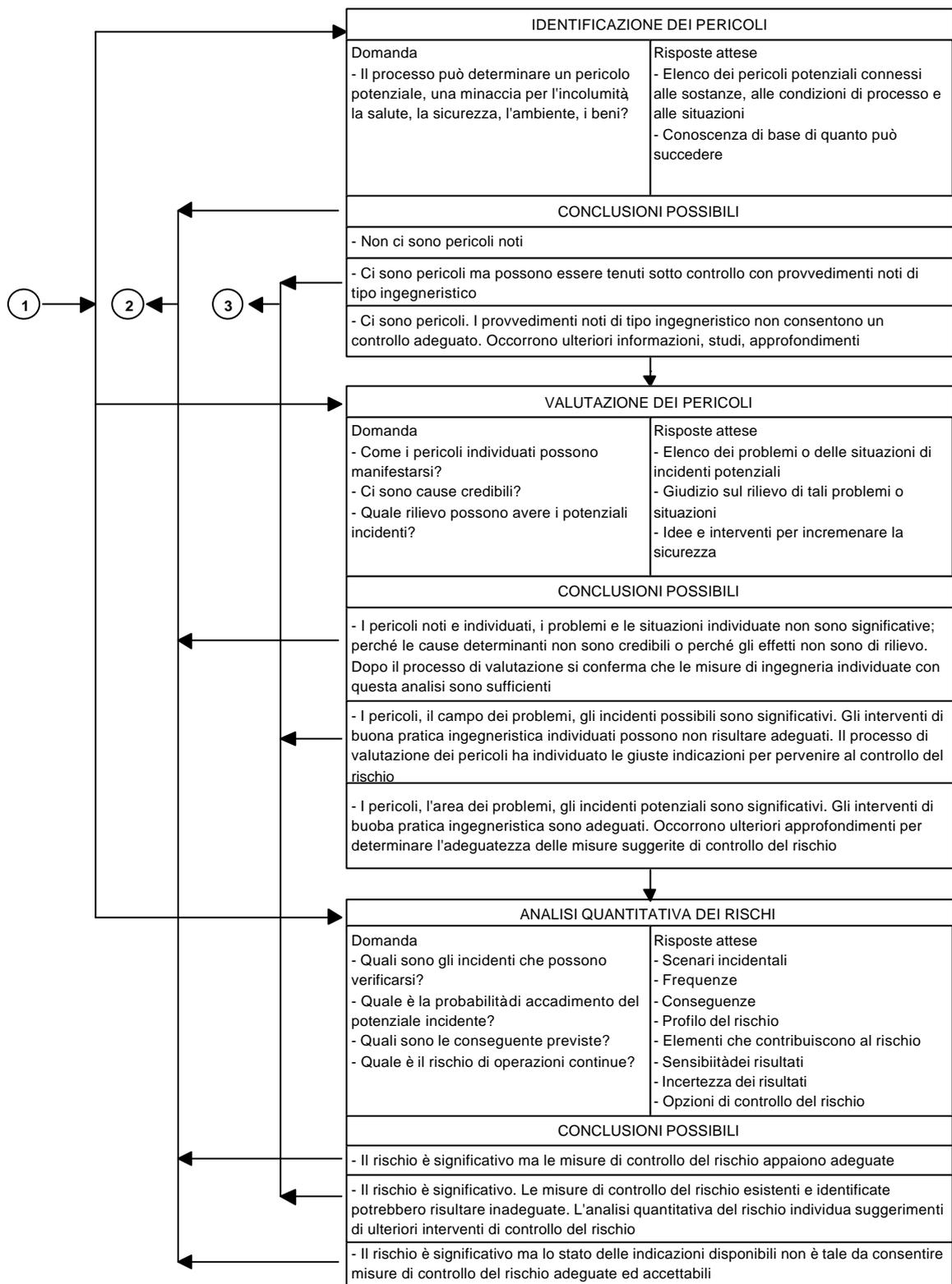


Figura 21/2 - Strategia di analisi e valutazione dei rischi da utilizzare in casi complessi

#### 4.1.3 Gli elementi di un incidente

Lo scopo di un'analisi valutativa del pericolo connesso con un determinato processo o sistema è quello di rilevare e identificare tutti gli incidenti possibili, valutarne gli effetti e, se del caso, le probabilità di accadimento.

In questo ambito l'incidente è un evento specifico, o una sequenza di eventi non voluti che danno luogo a conseguenze dannose.

Il primo evento della sequenza è l'evento iniziale, esso può condurre direttamente all'incidente ma, normalmente, è una catena di eventi che porta all'incidente.

Gli eventi intermedi sono le risposte del sistema o degli operatori all'evento iniziale. Risposte differenti al medesimo evento iniziale portano a conseguenze diverse. Inoltre, conseguenze dello stesso tipo, in termini qualitativi, potrebbero risultare diverse in termini di entità.

L'approccio di considerare un incidente come il risultato finale di una serie di eventi incidentali risulta molto importante perché, teoricamente, ogni evento della catena rappresenta una opportunità di intervento, nel senso che in quella fase si può intervenire o per eliminare il pericolo o per ridurre la frequenza di accadimento o le conseguenze di esso.

Quando si dice risposta del sistema ad un evento iniziatore si deve pensare, sia alla catena di eventi che tendono a propagare l'anomalia fino all'incidente, sia agli interventi che tentano di interrompere la catena, sia agli interventi che riducono il livello delle conseguenze dell'incidente (risposte del sistema o degli operatori).

Le risposte possibili del sistema e dell'operatore sono di due tipi: propaganti, quando favoriscono l'evoluzione della catena incidentale; migliorativi quando entrano in gioco per interrompere la catena o per ridurre gli effetti dell'incidente. Queste risposte migliorative possono essere date da strumenti, dispositivi o procedure di controllo.

#### 4.1.4 Approcci allo studio dei pericoli, analisi e valutazione dei rischi

Molto genericamente gli approcci alla valutazione delle situazioni di pericolo sono fondamentalmente di due tipi:

- 1) Controllo di conformità alla pratica consolidata e corrente
- 2) Analisi e valutazione preventiva, predittiva e specifica

Per entrambi gli approcci sono disponibili metodi di analisi sistematica. Il dato acquisito, di partenza, è che, il controllo di conformità a regole tecniche, a norme, o standards di progettazione rappresenta il requisito minimo obbligatorio da rispettare.

Il controllo di conformità consiste nel controllo dell'osservanza delle norme, delle regole tecniche, degli standards, delle pratiche che hanno dato i migliori risultati, lo stesso processo, lo stesso impianto, con le stesse necessità, le stesse procedure operative, lo stesso tipo di manutenzione. Per questo tipo di controllo sono indicati tipi particolari di metodi di indagine.

Quando sono da studiare processi, progetti, apparecchiature, procedure nuove o diverse da quelle ormai considerate stabilizzate, o quando l'esperienza è insufficiente, l'analisi del sistema deve essere impostata in modo da determinare un esame sistematico dei nuovi processi e degli impianti.

Le procedure di stima preventiva dei rischi sono state sviluppate per l'analisi dei processi, dei sistemi, delle operazioni, che sono diverse dai casi noti in misura tale che, la conformità alla pratica corrente, alle

norme di cui si è detto precedentemente, non porta a risultati soddisfacenti perché lascia margini di incertezza.

Questo processo di valutazione preventiva delle situazioni di pericolo fa riferimento, per l'incidente preso in considerazione, sia alla probabilità di accadimento dell'incidente sia alla entità del danno, sia al tipo di conseguenze non desiderate.

Il rischio è quindi normalmente correlato, con una funzione diretta, sia alla probabilità di accadimento che alla conseguenza o danno.

A seconda del caso però le decisioni pertinenti possono essere prese con riferimento ad una sola delle due grandezze.

Le procedure di valutazione preventiva di tipo prognostico possono consentire stime quantitative o qualitative della probabilità di accadimento e delle conseguenze di determinati incidenti e riescono spesso a portare in evidenza i modi di intervento per la riduzione del rischio quando ciò risulta necessario. La figura 22 è spesso usata per introdurre il concetto di valutazione prognostica dei rischi, o come viene spesso indicata, di "Analisi probabilistica del rischio". Risulta chiaro da essa che dal concetto di "pericolo" al concetto di "rischio" si passa applicando al pericolo una stima della probabilità di accadimento dell'incidente e una stima delle conseguenze.

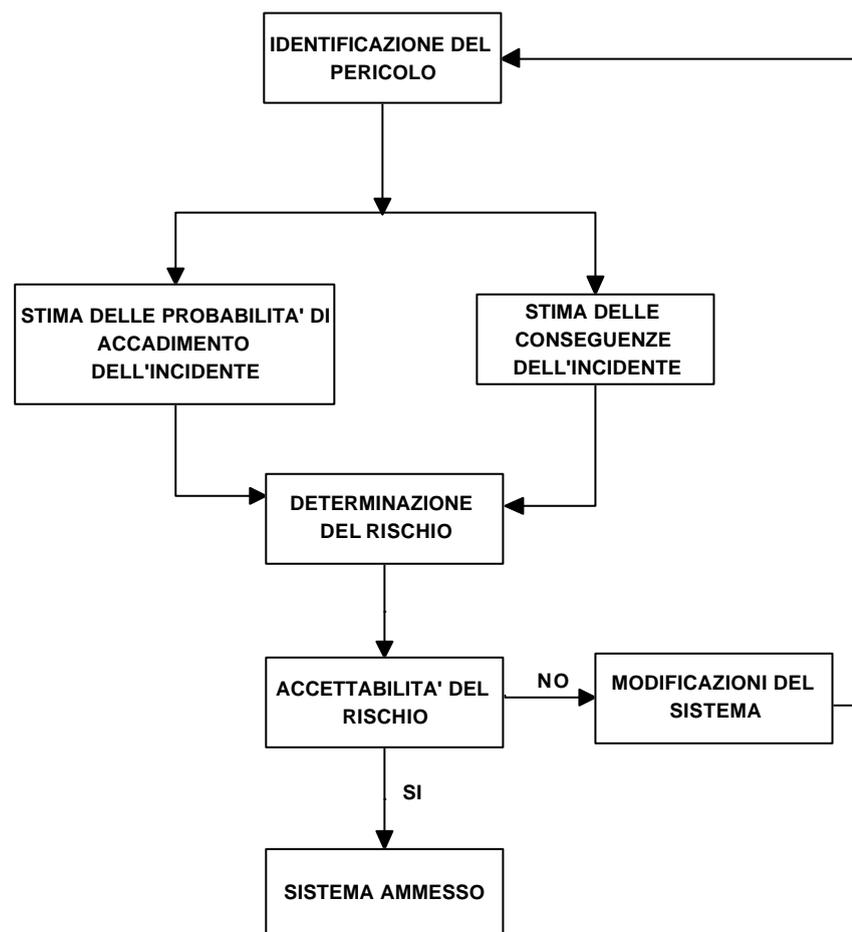


Figura 22 - Descrizione del Sistema di Analisi dei rischi

La figura 23 mostra invece le fasi di un generico processo di analisi e valutazione dei rischi visto come un processo graduale che porta ad una previsione di tipo prognostico. Ovviamente non è necessario seguire tutte le fasi previste dallo schema ma il numero e la successione delle fasi deve essere rapportata al caso di specie. La figura mostra altresì le relazioni che intercorrono tra queste fasi e le azioni da intraprendere nei differenti punti del procedimento.

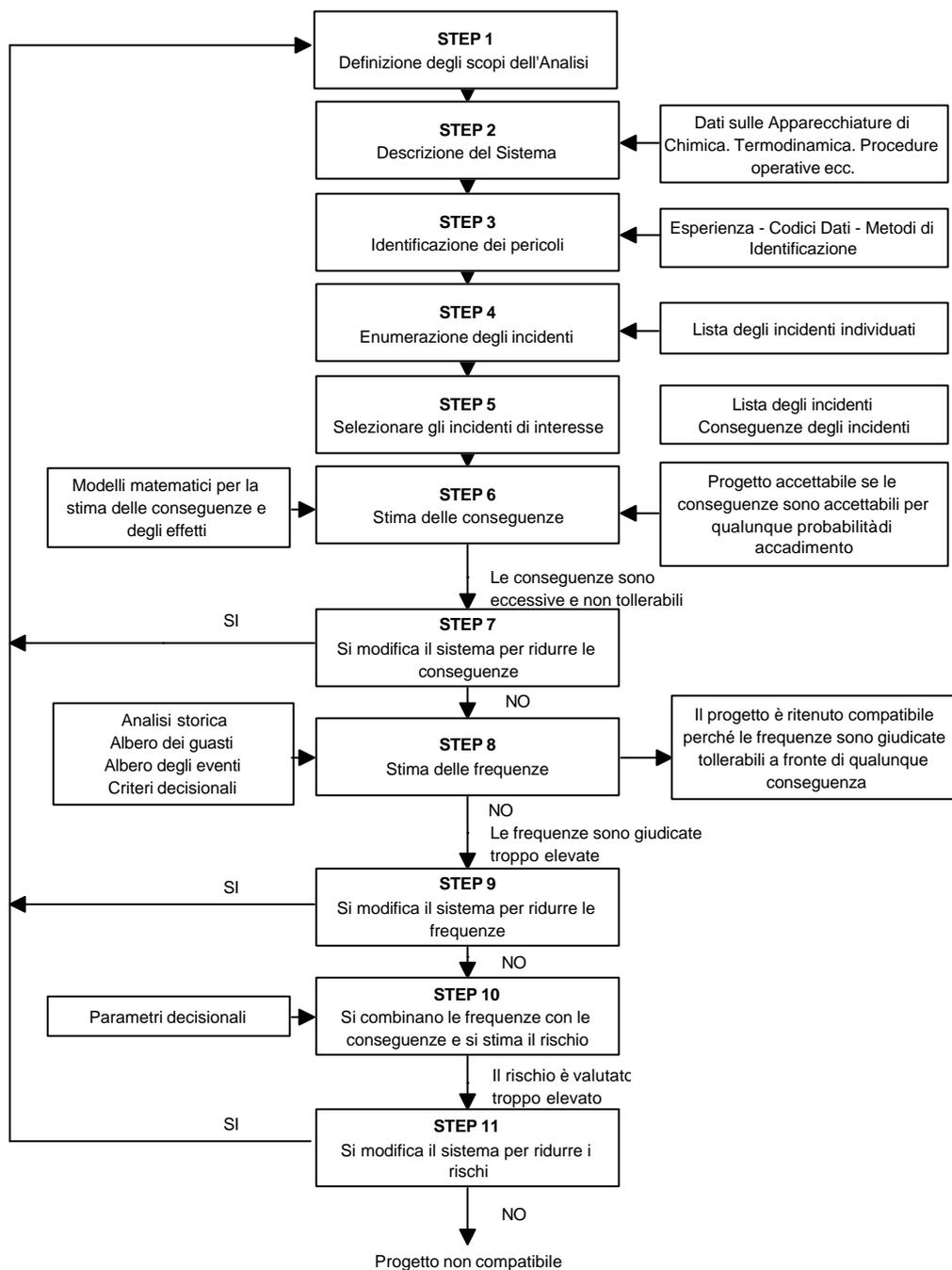


Figura 23 – Valutazione di compatibilità di un progetto

#### 4.1.5 I metodi e le tecniche di analisi

Se si prendono in considerazione le numerose pubblicazioni riguardanti i metodi di analisi sistematica dei pericoli si arriva a contare più di cento procedure sistematizzate di analisi, ognuna avente nome differente. Tuttavia se si studiano più attentamente quelle procedure, si analizza l'aiuto che forniscono e lo scopo a cui mirano, risulta chiaro che tutte possono essere ricompresi in quattro approcci fondamentalmente diversi con un massimo di una decina di metodi veramente importanti e differenti.

La tabella 1 che utilizza la divisione tra metodi per la individuazione dei pericoli e metodi per la valutazione dei rischi come proposto prima, mostra i diversi fondamentali approcci nell'analisi dei rischi e riporta i differenti metodi di lavoro per l'identificazione dei pericoli. Questi si differenziano perché alcuni servono solo a stimolare la memoria, gli altri tendono a stimolare gli approfondimenti con lo scopo di fare emergere eventuali ulteriori possibili anomalie e percorsi incidentali oltre quelli noti e a registrare e documentare i risultati dello studio. Al primo scopo mirano i primi quattro metodi, al secondo gli altri.

Il secondo principio, o metodo di lavoro, per l'identificazione dei pericoli contempla l'uso di supporti all'indagine e la documentazione (registrazione) dei risultati dell'indagine in forma di tabelle.

OBIETTIVO	SCOPO	PRINCIPIO DI LAVORO	METODO
Identificazione delle situazioni di Pericolo Potenziale e degli eventi non voluti	Completezza dell'analisi	Strumento di Supporto alla Memoria	1. Safety review 2. Check lists 3. What if 4. What if check list
		Analisi basata sull'uso di strumenti di supporto e tavole	5. Failure mode and effects analysis 6. Hazard and operability studies
Valutazione con riferimento alla possibilità di determinare la Probabilità di accadimento	Ottimizzare i sistemi di sicurezza intervenendo sulla loro affidabilità e disponibilità	Rappresentazione grafica della Connessione e Relazione logica tra le diverse anomalie e malfunzionamenti e successiva valutazione della probabilità di accadimento	7. Incident – sequence – analysis (event tree) induttivo 8. Fault tree analysis (deduttivo) 9. Human reliability analysis
Valutazione dell'incidente con riferimento alla stima delle conseguenze	Ridurre al minimo i pericoli potenziali attraverso l'individuazione delle misure di protezione più adeguate	Studio con modelli matematici dei processi fisico chimici	10. Hazard consequence

Tabella 1 - Approcci all'analisi dei rischi e differenti metodi di lavoro per l'identificazione dei pericoli

#### 4.1.6 Conclusioni circa il processo di analisi dei rischi relativo alla camera iperbarica verde

L'analisi e valutazione dei rischi se correttamente intesa ed applicata avrebbe dovuto essere condotta secondo queste fasi:

- Ricerca e studio delle informazioni disponibili su incidenti pregressi
- Individuazione e valutazione delle norme esistenti
- Scelta della norma più aggiornata
- Decisione sul livello di protezione assicurato dal rispetto della norma
- Scelta di procedere o meno ad uno studio più approfondito di carattere prognostico in funzione del livello elevatissimo di danno possibile
- Individuazione di tutte le misure idonee a garantire il livello di protezione ritenuto adeguato
- Regole e misure di formazione, informazione, addestramento e manutenzione idonee a tenere sotto controllo la situazione di pericolo, evitare l'insorgenza dell'incendio, essere predisposti a gestire efficacemente un eventuale sviluppo di incendio.

Di questo studio nella valutazione dei rischi effettuata dall'azienda non c'è traccia. Il pericolo di incendio nella camera iperbarica è liquidato con solo una riga. Si confonde l'analisi di rischi con la semplice individuazione del pericolo. Non c'è traccia neanche di un'analisi storica degli incidenti specifici accaduti. Vedi bibliografia contenuta nelle relazioni del Prof. Ortolani e dei consulenti del Pubblico Ministero.

#### 4.1.7 Studio esemplificativo del pericolo di incendio

Nel seguito si riporta uno studio del pericolo di incendio condotto con l'ausilio di strumenti già allora disponibili: albero dei guasti e albero degli eventi.

La rappresentazione del percorso incidentale con il metodo dell'albero dei guasti, rappresentato con due diverse metodologie in figura 24 e figura 25 o con quello dell'albero degli eventi, rappresentato in figura 26, consente le seguenti considerazioni:

- la soluzione impiantistica adottata dimostra che in sede di progetto il problema del pericolo di incendio entro l'apparecchiatura era stato affrontato;
- che rispetto a tale pericolo erano stati adottati provvedimenti di prevenzione e di protezione;
- gli interventi volti ad evitare che l'incendio si sviluppasse (prevenzione) o a spegnerlo nel caso si fosse sviluppato erano solo nelle mani dell'operatore esterno. Operatore che evidentemente non sapeva neanche di averli se è vero come è vero che non aveva la possibilità né la consuetudine di controllare il funzionamento e l'efficienza dell'impianto;
- solo con un operatore opportunamente addestrato ed estremamente affidabile, con verifiche giornaliere della funzionalità ed efficienza del sistema antincendio si potevano ipotizzare probabilità di accadimento tollerabili;

E' invece risultato evidente che, nel caso in questione, non era previsto alcun controllo periodico dell'impianto di spegnimento né una taratura, a scadenze fisse, dei dispositivi di controllo né una rigorosissima formazione dell'operatore esterno. Un elemento per tutti: l'autoclave risultava e risulta sprovvista di controllo di livello pur essendo predisposta per l'installazione di esso a dimostrazione del fatto che nessuno si occupava di controllare l'impianto di spegnimento. Tutto ciò sta a dimostrare che all'ipotesi dell'incendio nessuno aveva mai fatto attenzione nessuno l'aveva preso in seria considerazione. Opinione che trova conferma nella scheda allegata all'analisi dei rischi elaborata dalla

società di servizi ed acclusa in allegato. Essa mostra in modo palmare che di una corretta analisi dei rischi l'analista che ha operato non ha neanche una idea approssimata, tanto da pensare di aver effettuato una analisi e valutazione del rischio incendio quando ha solo individuato l'esistenza del pericolo.

In questo senso, la testimonianza del consulente di sicurezza, che giudica la valutazione dei rischi effettuata dall'estensore del rapporto di sicurezza come corretta perché "avere tirato fuori 9 rischi nell'ambito di 20 metri quadrati di spazio tutto sommato non mi sembra una cosa da buttare via", ma che nella stessa pagina ammette "che nessuno di quelli che facevano quel mestiere aveva come riferimento un documento di quattro pagine che girava la voce provenissero dal ministero dell'industria" serve soltanto a dimostrare che la carenza professionale che portava a definire analisi dei rischi la semplice individuazione del pericolo fosse molto diffusa tra quanti, in assenza di una disciplina, si erano autonominati analisti di rischio. Prassi che ha dato un contributo non secondario a fare dell'obbligo dello studio imposto dalla 626 un inutile obbligo burocratico.

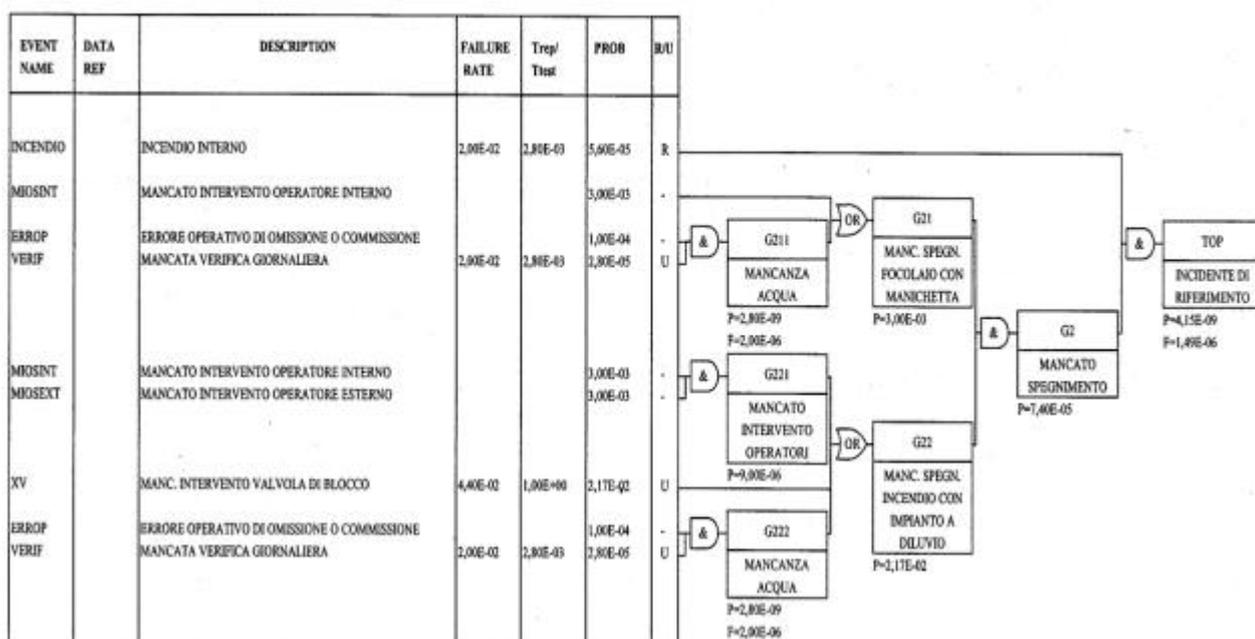


Figura 24 – Rappresentazione dell'albero dei guasti

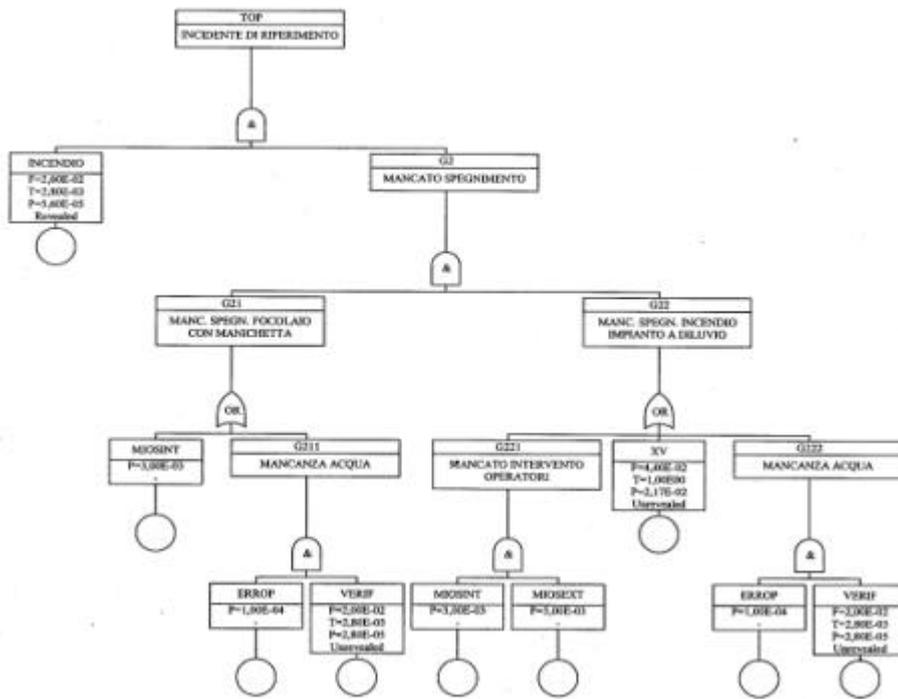


Figura 25 – Rappresentazione dell'albero dei guasti

	INFORMAZIONE, FORMAZIONE OPERATORI	PRESENZA COMBUSTIBILE	PRESENZA INNESCO	ECCESSO CONCENTRAZIONE OSSIGENO	MANCATO INTERVENTO CON MANICHETTA	MANCATO INTERVENTO SISTEMA SPEGNIMENTO	
	NO						Incidente di riferimento
CAMERA IPERBARICA	NO						Nessun effetto
	SI		NO				Nessun effetto
		SI		NO			Difficoltà di innesco
			SI		NO		Probabile blocco incendio
				SI		NO	Nessun effetto
					SI	SI	Incidente di riferimento
	Informazione, formazione ed addestramento ai sensi del D.Lgs.626/94 e DM 10/3/98	L'operatore esterno non applica le procedure di controllo degli indumenti dei pazienti	L'operatore esterno non applica le procedure di controllo degli oggetti introdotti in camera iperbarica	Mancato intervento operatore esterno	L'operatore interno non interviene con la manichetta antincendio	L'operatore interno ed esterno non azionano l'impianto di spegnimento a diluvio presente all'interno della camera, oppure quest'ultimo è fuori servizio	

Figura 26 – Rappresentazione in termini di albero degli eventi

## 4.2 Conseguenze del rispetto della normativa prevenzionale precedente il D. Lgs. 626/94

Il rispetto della “vecchia” normativa prevenzionale avrebbe comunque garantito un livello minimo di sicurezza. Ad esempio:

- 1) la dovuta attenzione al disposto dell’art. 2087 Codice Civile – Tutela delle condizioni di lavoro: “L’imprenditore è tenuto ad adottare, nell’esercizio dell’impresa, le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l’esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l’integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro”, avrebbe garantito una organizzazione della sicurezza realizzata secondo le particolarità del lavoro, l’esperienza, la tecnica e l’aggiornamento scientifico;
- 2) la dovuta attenzione al disposto dell’art. 374 del D.P.R. 547/55 – Edifici, opere, impianti, macchine ed attrezzature: “Gli edifici, le opere destinate ad ambienti o posti di lavoro, compresi i servizi accessori, devono essere costruiti e mantenuti in buono stato di stabilità, di conservazione e di efficienza in relazione alle condizioni di uso ed alle necessità della sicurezza del lavoro. Gli impianti, le macchine, gli apparecchi, le attrezzature, gli utensili, gli strumenti, compresi gli apprestamenti di difesa, devono possedere, in relazione alle necessità della sicurezza del lavoro, i necessari requisiti di resistenza e di idoneità ed essere mantenuti in buono stato di conservazione ed efficienza. Ove per le apparecchiature di cui al comma 2 è fornito il libretto di manutenzione occorre prevedere l’aggiornamento di questo libretto”, avrebbe garantito l’efficienza del sistema antincendio.
- 3) La dovuta attenzione al disposto dell’art. 237 del succitato D.P.R. – Lavori entro tubazioni, canalizzazioni, recipienti e simili nei quali possono esservi gas, vapori, polveri infiammabili ed esplosivi: “Qualora nei luoghi di cui all’art. 235 non possa escludersi la presenza anche di gas, vapori o polveri infiammabili od esplosivi, oltre alle misure indicate nell’articolo precedente, si devono adottare cautele atte ad evitare il pericolo di incendio o di esplosione, quali la esclusione di fiamme libere, di corpi incandescenti, di attrezzi di materiale ferroso e di calzature con chiodi. Se necessario l’impiego di lampade, queste devono essere di sicurezza”, avrebbe garantito l’elaborazione e l’attuazione di procedure di controllo delle sorgenti di innesco che potevano essere introdotte nella camera iperbarica.
- 4) una corretta informazione, sia pure limitata solo al “pericolo” incendio indicato nel documento di valutazione dei rischi (non vanno utilizzate apparecchiature elettriche e fonti di calore in prossimità dell’utilizzo dell’ossigeno), richiesta dall’art. 4 del succitato D.P.R., – Obblighi dei datori di lavoro, dei dirigenti e dei preposti: “I datori di lavoro, i dirigenti ed i preposti che esercitano, dirigono o sovrintendono alle attività indicate all’art. 1, devono, nell’ambito delle rispettive attribuzioni e competenze:
  - (a) attuare le misure di sicurezza previste dal presente decreto;
  - (b) rendere edotti i lavoratori dei rischi specifici cui sono esposti e portare a loro conoscenza le norme essenziali di prevenzione mediante affissione, negli ambienti di

lavoro, di estratti delle presenti norme o, nei casi in cui non sia possibile l'affissione, con altri mezzi;

- (c) disporre ed esigere che i singoli lavoratori osservino le norme di sicurezza ed usino i mezzi di protezione messi a loro disposizione”;

avrebbe potuto stimolare una ulteriore richiesta di valutazione del “rischio” reale da parte del personale addetto alla camera iperbarica. Il fatto che la specifica scheda di valutazione del rischio fosse priva di contenuti reali ha indubbiamente portato a sottovalutare la necessità di elaborare tutte le misure di prevenzione e protezione possibili.

Al di là dei rischi fisiopatologici connessi all'ossigenoterapia dovuti all'esposizione dell'organismo umano alla pressione e/o all'iperossigenemia, il rischio da incendio, conseguente alla possibilità di avere all'interno della camera iperbarica una concentrazione di ossigeno superiore al normale, doveva essere valutato considerando non solo il volume di fuoco che si produce ma, più che tutto, la preclusione di una immediata via di fuga.

Una corretta valutazione del rischio incendio doveva necessariamente prevedere l'elaborazione di:

- misure preventive per ridurre la frequenza dell'accadimento, utilizzando strumenti di tipo tecnico/organizzativo (prevenzione oggettiva) e di tipo procedurale derivanti fondamentalmente da una adeguata informazione e formazione del personale (prevenzione soggettiva);
- misure protettive finalizzate all'eliminazione dei rischi residui derivanti dall'attività preventiva.

### **4.3 L'individuazione delle misure prevenzionali**

A questo proposito occorre segnalare che un preciso punto di riferimento è rappresentato dalle norme statunitensi contenute nell'edizione del 1996 della NFPA – National Fire Protection Association che, come recita il capitolo 19-1.1, si prefiggono lo scopo di definire il livello minimo di prevenzione per i pazienti e tutti i soggetti coinvolti nella terapia iperbarica.

Un altro importante riferimento è costituito dalle “Guidelines for clinical multiplace hyperbaric facilities” edite nel giugno del 1994 dalla Undersea and Hyperbaric Medical Society in cui, fra l'altro, vengono definite una serie di procedure di emergenza con relativi protocolli scritti, fra cui, ovviamente, quelle relative alla possibilità di sviluppo di incendio sia all'interno che all'esterno della camera iperbarica (non sono state riportate le procedure di carattere sanitario):

- perdita della fonte principale di aria;
- perdita della fonte principale di ossigeno;
- rapido incremento della pressione all'interno della camera;
- rapida diminuzione della pressione all'interno della camera;
- incendio all'interno della camera;
- incendio nei locali in cui è ubicata la camera;
- perdita del sistema di estrazione dell'aria;
- perdita del sistema di estrazione di ossigeno;
- contaminazione della fonte d'aria;
- interruzione delle comunicazioni;

- interruzione dell'energia elettrica;
- omessa decompressione;
- avaria o danneggiamento del sistema antincendio.

Da un punto di vista generale, sulla base delle disposizioni contenute nel D.Lgs 626/94, le misure prevenzionali che dovevano essere contenute nel documento di valutazione dei rischi relativo ad un servizio di terapia iperbarica sono:

- 1) Individuazione formale del dirigente incaricato di applicare le misure e del preposto incaricato di vigilare sulla loro concreta attuazione;
- 2) Elaborazione di un piano specifico per la prevenzione degli incendi comprensivo delle misure intese ad evitare l'insorgenza di incendio e a limitarne le conseguenze qualora esso si verifici, nonché dei criteri per la gestione delle emergenze con particolare attenzione alla definizione di un piano per l'evacuazione dei pazienti e degli operatori sanitari;
- 3) Elaborazione di un protocollo di sorveglianza sanitaria per gli operatori sanitari esposti agli effetti della pressione;
- 4) Definizione delle misure precauzionali di esercizio e dei metodi dei controlli e manutenzione degli impianti e delle attrezzature antincendio;
- 5) Elaborazione dei contenuti di una adeguata informazione e formazione su:
  - (a) i pericoli connessi all'uso delle camere iperbariche e i conseguenti rischi per la sicurezza e la salute;
  - (b) le misure di prevenzione e di protezione ;
  - (c) i rischi specifici, le normative di sicurezza e le disposizioni aziendali in materia;
  - (d) le procedure che riguardano il pronto soccorso, la lotta antincendio e l'evacuazione dei pazienti e del personale di assistenza.

Solo attraverso un processo continuo di informazione e formazione è possibile responsabilizzare i lavoratori all'osservanza delle misure prevenzionali cui sono soggetti dall'art. 5 del D.Lgs. 626/94, che richiede che ciascun operatore “debba prendersi cura della propria sicurezza e della propria salute e di quella delle altre persone presenti nella struttura, su cui possono ricadere gli effetti delle sue azioni o omissioni conformemente alla sua formazione ed alle istruzioni ed ai mezzi forniti dal datore di lavoro”.

In particolare, devono essere predisposte delle procedure che consentano a qualsiasi appartenente al servizio, in caso di pericolo grave ed immediato per la propria sicurezza ovvero di quella di altre persone e, nell'impossibilità di contattare il competente superiore gerarchico, di prendere le misure adeguate per evitare le conseguenze di tale pericolo tenendo conto delle sue conoscenze e dei mezzi tecnici disponibili.

#### **4.4 Misure di prevenzione**

Da un esame della documentazione ricevuta si deduce la scelta di un sistema di prevenzione in cui venivano distinte le misure di prevenzione di tipo sanitario da quelle relative alla sicurezza.

Il personale sanitario doveva preoccuparsi delle emergenze sanitarie, mentre i rischi legati a fattori tecnici, tra i quali l'incendio, erano affidati al tecnico iperbarico incaricato di attivare i sistemi di

protezione di cui era dotata la camera. E' chiaro che una tale organizzazione non solo contrasta con il disposto dell'art. 5 succitato, ma ingenera oltretutto una forma di delega verso l'operatore esterno e l'efficacia del sistema antincendio. Tale atteggiamento "passivo" è stato evidentemente trasmesso ai pazienti creando in loro il convincimento che non esisteva un vero e proprio rischio concreto di incendio.

La sottovalutazione del rischio incendio, di fatto, ha comportato anche la sottovalutazione dell'importanza di attuare le misure di prevenzione e protezione predisposte.

Anche il comportamento del tecnico addetto al quadro di comandi conferma che una formazione inadeguata determina non solo l'erroneo convincimento che il sistema antincendio nel suo complesso, e cioè a partire dal controllo dell'ossimetria con relativo avvisatore acustico in poi, è sufficiente a far fronte all'emergenza, ma anche il convincimento che i controlli periodici non siano poi così importanti.

In pratica, la mancanza di una reale valutazione del rischio, che ha comportato la mancata elaborazione di misure di prevenzione adeguate, ha indotto i vari addetti ad effettuare ognuno una propria "valutazione del rischio" rendendoli del tutto impreparati ad affrontare l'emergenza ed estraniandoli completamente da una loro partecipazione al sistema dei controlli (ne è una riprova, ad esempio, il fatto che nessuno abbia richiesto il ripristino della doccia all'interno della camera iperbarica, oppure, cosa ancora più grave, che nessuno abbia ritenuto necessario porre più attenzione nell'attuazione delle misure di controllo dei pazienti a fronte delle modifiche apportate ai caschi).

#### 4.4.1 Prevenzione degli incendi

Non vi è dubbio che le disposizioni contenute nell'art. 4 del D.Lgs. 626/94 in merito alla previsione e all'organizzazione degli interventi per la lotta agli incendi ed, in generale, per la gestione delle situazioni di emergenza rappresentano una novità rispetto alla precedente normativa; l'art. 4, lett. h), richiede che il datore di lavoro adotti le misure per il controllo delle situazioni di rischio in caso di emergenza.

Il principale mezzo per la prevenzione degli incendi è il controllo dell'ambiente iperbarico e delle condizioni dei pazienti che vi accedono. La percentuale di ossigeno all'interno della camera deve essere verificata in maniera continua sia all'interno della camera di trattamento che della camera di trasferimento; particolare attenzione deve essere prestata quando l'ossigeno viene somministrato a flusso libero. La percentuale di ossigeno all'interno della camera deve essere mantenuta entro il 23,5%; i sensori della percentuale di ossigeno dovrebbero essere dotati di allarmi visivi e sonori.

Quando la percentuale di ossigeno supera il 23,5 % debbono essere messe in atto procedure standardizzate per il ricambio dell'aria all'interno della camera e deve essere sospesa la somministrazione di ossigeno in maschera. In questa condizione potrebbe anche essere previsto l'automatico passaggio ad aria sintetica sulla linea dell'ossigeno.

I sistemi di erogazione di ossigeno a flusso continuo debbono essere considerati potenzialmente pericolosi e, per questo motivo, ne deve essere limitato l'uso contemporaneo e debbono essere previste procedure scritte sul loro impiego.

I sistemi di erogazione di ossigeno a flusso continuo con casco o in bolla di plastica debbono essere considerati a maggior rischio di incendio e per il loro uso deve essere necessariamente prevista una accurata preparazione del paziente.

Nel caso di somministrazione di ossigeno con casco, i pazienti debbono svestirsi ed indossare indumenti appropriati. Inoltre debbono essere prese ulteriori precauzioni per quanto attiene alla

condizione dei capelli che debbono essere puliti, privi di lacche e/o profumi, coperti da copricapo ignifugo.

Prima di iniziare ogni trattamento occorre ricordare ai pazienti di verificare il contenuto delle tasche, l' idoneità degli abiti all'ambiente, quale comportamento deve essere tenuto nelle condizioni di emergenza. Il microclima della camera dovrebbe essere programmato in modo da mantenere durante il trattamento una temperatura di 20-22 C°, con una umidità relativa superiore al 50%.

Per quanto riguarda la definizione delle procedure di manutenzione e la verifica della loro corretta osservanza, va ricordato che la normativa statunitense richiede espressamente la presenza di registri di manutenzione e definisce quali informazioni devono contenere (NFPA 99 - 19 - 3.4.2). Inoltre, le norme ASME - PVHO-1 contengono esempi di moduli da utilizzare per riportare esiti di operazioni di manutenzione o modifica della struttura.

Le procedure di manutenzione, ovviamente, devono tenere conto delle istruzioni impartite dal costruttore dell'impianto.

#### **4.5 L'informazione**

L'elemento centrale su cui si impernia la nuova disciplina della prevenzione è costituito soprattutto dalla necessità di creare un sistema di prevenzione in grado di stimolare la crescita e la diffusione di una maggiore cultura della sicurezza a tutti i livelli aziendali.

L'attività di informazione deve essere svolta in modo da permettere la propagazione delle conoscenze dai massimi livelli aziendali a tutti i lavoratori, ponendosi l'obiettivo di far crescere una loro partecipazione attiva e consapevole.

Oggi, contrariamente a quanto previsto dagli artt. 4 dei D.P.R. 547/55 e 303/56, in cui era previsto l'obbligo di "rendere edotti i lavoratori dei rischi specifici cui sono esposti e portare a loro conoscenza le norme essenziali di prevenzione mediante affissione negli ambienti di lavoro di estratti delle stesse", si richiede di informare i lavoratori sia sui rischi generali che su quelli derivanti dalle mansioni specifiche, nonché sulle indicazioni delle misure prevenzionali adottate, comprese quelle rivolte non solo ad impedire ma anche a limitare i danni, come il pronto soccorso, la lotta antincendio e l'evacuazione dei lavoratori in caso di emergenza.

L'informazione, ovviamente, deve essere conseguente ad una corretta valutazione dei rischi e deve riguardare anche le misure di sicurezza. L'informazione, di conseguenza, non può più essere generica ed indifferenziata ma deve essere mirata su ciascun lavoratore.

Il responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione, sulla base del disposto dell'art. 9, comma 1 lett f), con la collaborazione del medico competente, art. 17, comma 1, lett c) ed f), è il soggetto privilegiato che, sulla base dei contenuti del documento di valutazione dei rischi, ha il compito di elaborare e trasmettere ai lavoratori tutto ciò che serve a renderli consapevoli dei rischi.

##### **4.5.1 Informazione ai dipendenti**

L'informazione, essendo mirata a "rendere edotti" i lavoratori dei pericoli connessi all'uso delle camere iperbariche, dei conseguenti rischi per la sicurezza e la salute nonché delle misure di prevenzione e di protezione adottate, deve riguardare:

- il rischio dovuto all'accumulo di azoto nell'organismo, legato al tempo di permanenza e alla pressione raggiunta;
- le condizioni favorevoli allo sviluppo di un incendio, mettendo in luce che una atmosfera arricchita in ossigeno condiziona l'evoluzione di un incendio, poiché l'energia richiesta per provocarlo risulta inferiore e la velocità di diffusione delle fiamme cresce;
- l'importanza della corretta attuazione delle procedure per eliminare qualsiasi sorgente di innesco (descritte nel successivo paragrafo);
- l'importanza di limitare la concentrazione di ossigeno presente in camera attraverso un costante controllo del corretto uso, da parte dei pazienti, delle maschere e dei caschi;
- l'importanza di ridurre al minimo indispensabile la presenza di materiale combustibile;
- l'importanza di verificare continuamente l'efficacia e l'efficienza dell'impianto antincendio.

Una tale attività di informazione potrebbe essere resa incisiva, se integrata con una elencazione degli incidenti occorsi negli ultimi anni, analizzati in base alle loro cause di accadimento.

#### 4.5.2 Informazione ai pazienti

I pazienti devono essere messi in condizione di conoscere i rischi ai quali vanno incontro prima del trattamento. Tutti i pazienti, durante la visita medica che precede ogni ciclo terapeutico, devono essere istruiti riguardo il divieto assoluto di portare all'interno della camera oggetti potenzialmente pericolosi (accendini, apparecchiature elettriche o elettroniche, penne stilografiche, orologi, ecc.) e, in ogni caso, qualsiasi dispositivo in grado di produrre scintille. Sarebbe altresì opportuno distribuire agli stessi un testo scritto di tale informazione, facendolo sottoscrivere per presa visione prima dell'inizio del ciclo terapeutico.

Invece, come appare dal verbale dei carabinieri del 31 ottobre 1997, all'interno della camera iperbarica verde, dopo l'incidente, furono rinvenuti diversi oggetti che non avrebbero mai dovuto entrare nella camera, quali, ad esempio, una catenina di metallo, un orologio da polso in acciaio, un portachiavi, un portamonete in pelle, alcune monete ed uno scaldamani "argentato". Quest'ultimo è l'oggetto a cui si fa riferimento nelle sezioni 5.1 e 3.1.1.

Il personale addetto ai controlli deve essere comunque informato che la firma del consenso informato non scarica in alcun modo le responsabilità di chi è addetto alla verifica dei pazienti all'atto dell'ingresso nella camera iperbarica.

Nel caso di impiego dei caschi per la ventilazione in ossigeno, tale informazione deve essere particolarmente accurata circa il divieto di:

- indossare indumenti in tessuto sintetico, con particolare attenzione a sciarpe, colletti, ecc.;
- utilizzare cosmetici, creme o pomate sul viso e sul collo;
- utilizzare lacche o tinture per i capelli.

Considerando la varietà delle tipologie dei capi di vestiario, nonché la problematicità di demandare al personale medico o paramedico il controllo dell'idoneità dei capi di vestiario indossati dai pazienti, una

idonea misura di prevenzione consisterebbe nello stabilire chiaramente che all'interno della camera iperbarica devono essere indossati unicamente capi di vestiario forniti dalla struttura (camice e calzari). In presenza di un diffuso utilizzo dei caschi, sarebbe anche opportuno fornire indicazioni circa le caratteristiche dei tessuti dei camici (ad esempio, sono preferibili tessuti realizzati con cotone al 100%, a trama compatta e/o rivestiti con uno strato di materiale che impedisca l'assorbimento dell'ossigeno).

Occorre ancora osservare che se, in linea di principio, è certamente positivo informare ampiamente il paziente sui rischi e cercare di formarlo sui comportamenti da tenere in caso di emergenza, non si può certo ritenere che questa informazione metta ogni paziente in grado di eseguire correttamente le procedure fornitegli; difatti, la comprensione e messa in atto di tali procedure tecniche richiede un livello culturale, una destrezza fisica ed un sangue freddo che è illusorio pensare siano patrimonio della maggioranza dei pazienti. Ne consegue che, per garantire la sicurezza dei pazienti, occorre informare e formare prioritariamente l'addetto presente all'interno della camera iperbarica, mettendolo in grado di poter prevenire ed eventualmente fronteggiare le situazioni di rischio che si dovessero generare.

Infatti, appare assolutamente evidente che equipaggiare la camera iperbarica con tutti i dispositivi di spegnimento previsti (ad esempio le manichette), con le saracinesche di intercettazione dell'ossigeno e simili, è assolutamente inutile se all'interno della camera non si trova in ogni momento un addetto in grado di agire con prontezza ed in modo adeguato in caso si presenti una emergenza. Non si può certo pensare di demandare un primo intervento ad un paziente sottoposto a terapia iperbarica, anche se informato delle procedure di emergenza con documentazione scritta.

#### **4.6 La formazione**

La formazione deve integrare l'informazione e deve essere rapportata ad ogni singolo posto di lavoro e alle mansioni specifiche svolte da ciascun lavoratore. Affinchè sia sufficiente ed adeguata non deve limitarsi alla asettica acquisizione di notizie generiche sui rischi ma deve privilegiare la formazione sul campo, in quanto maggiormente aderente ai fattori di rischio esistenti.

La formazione deve avere come obiettivo prioritario quello di sviluppare un'attitudine specifica ad agire in sicurezza. In particolare devono essere formati i personaggi che svolgono compiti chiave all'interno delle procedure di tutela.

Il Servizio di Prevenzione e Protezione deve elaborare i contenuti, scegliere il tempo, la frequenza, gli istruttori, l'ambito, gli strumenti e i mezzi di verifica della validità ed efficacia di tali corsi. La gestione di un servizio di terapia iperbarica deve necessariamente prevedere delle specifiche competenze in relazione alla particolarità dell'ambiente in cui viene effettuata la terapia. Le figure professionali che operano in tale ambito sono essenzialmente:

- a) il medico iperbarico;
- b) l'infermiere professionale iperbarico;
- c) il tecnico iperbarico.

##### **4.6.1 Formazione sanitaria (alcune considerazioni generali)**

A tale proposito si ritiene sufficiente rilevare, per quanto riguarda la figura del medico iperbarico, che la Scuola di Specializzazione in Anestesia e Rianimazione prevede, nel corso dei primi tre anni, insegnamenti di carattere generale sulla terapia iperbarica, comprensivi anche di un tirocinio pratico da

realizzare presso un centro iperbarico. Il quarto anno di indirizzo specifico in tale terapia prevede 200 ore di istruzione teorica e 200 ore di formazione pratica.

Gli infermieri iperbarici devono essere formati sull'adattamento delle procedure infermieristiche specifiche per ogni patologia all'ambiente iperbarico, in modo che i trattamenti messi abitualmente in atto non siano modificati o interrotti durante la permanenza in camera iperbarica.

#### 4.6.2 Formazione del personale

In considerazione dell'evidente pericolo di incendio connesso con l'operazione di una camera iperbarica, si può ritenere che la formazione degli addetti al controllo delle operazioni, sia all'interno che all'esterno della camera iperbarica, deve comprendere:

- elementi del processo di combustione in atmosfera arricchita di ossigeno, finalizzati ad indirizzare, in caso di incendio, la scelta dell'uso del mezzo di estinzione. Considerando che in ambienti chiusi la fase di ignizione inizia normalmente con una piccola fiamma, come sarà più dettagliatamente specificato nel seguito, e considerando anche le conseguenze dell'attivazione dell'impianto antincendio in un ambiente di ridotte dimensioni e con la presenza di una certa tipologia di pazienti, non si può escludere che, in certe situazioni, sia sufficiente l'utilizzo della doccia per estinguere l'incendio;
- tale formazione deve comprendere anche delle periodiche esercitazioni pratiche, in cui vengono simulate situazioni di emergenza.

La formazione dei tecnici iperbarici deve comprendere:

- l'applicazione ed il controllo dei dispositivi di sicurezza riguardanti la prevenzione degli incendi;
- la messa in atto ed il controllo di compressioni e decompressioni attraverso il calcolo, l'applicazione ed il controllo delle relative tabelle;
- il controllo periodico all'interno della camera in pressione, per verificare il corretto funzionamento dei circuiti sotto pressione e di tutti i dispositivi interni;
- il controllo periodico dei dispositivi di sorveglianza e dei dispositivi ausiliari (compressori, fonti di aria compressa e gas);
- il controllo e la modifica dei parametri del microclima e della percentuale di ossigeno nella miscela di aria presente nella camera iperbarica;
- l'istruzione dei pazienti sulle manovre di compensazione e sulla corretta ventilazione dei gas medicali;
- la manovra della camera di trasferimento per consentire l'eventuale ingresso e/o uscita del personale medico e paramedico;
- la valutazione circa l'introduzione di materiali ed attrezzature all'interno della camera iperbarica, compresa anche la compatibilità del vestiario dei pazienti;
- la necessità di relazionare al medico responsabile sulle eventuali cause di inefficienza dell'impianto, nonché sulla corretta esecuzione delle operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

#### 4.6.3 Formazione dei pazienti

Per quanto riguarda i pazienti, essi dovranno essere formati a respirare con le maschere e con i caschi mediante la partecipazione ad una esercitazione pratica e dovranno essere istruiti sul comportamento da tenere nel caso di una eventuale emergenza; dovranno inoltre apprendere le modalità con cui verrà effettuato il trattamento.

Occorre inoltre sensibilizzare i pazienti a segnalare al personale interno eventuali comportamenti impropri degli altri pazienti.

#### 4.6.4 Formazione degli addetti operanti all'esterno della camera iperbarica

Una ulteriore misura di prevenzione e di protezione consiste nel prevedere la necessità di formare personale sia tecnico che sanitario alle manovre di ingresso rapido, tramite la camera di trasferimento, all'interno della camera iperbarica. Anche in presenza di un operatore sanitario nel corso della terapia, appare certamente opportuno che personale addestrato ad interventi di emergenza sia comunque disponibile all'esterno della camera e pronto ad entrare in caso di bisogno.

### **4.7 Considerazioni generali sui criteri della formazione**

Le procedure di emergenza previste devono essere trasmesse al personale sotto forma di documenti scritti; le procedure in oggetto devono essere verificate mediante periodiche esercitazioni. In ogni caso, la formazione dovrà essere adeguatamente documentata, verificata mediante opportune forme di accertamento del profitto del singolo partecipante ed il grado di addestramento mantenuto nel tempo attraverso cicli ripetuti di formazione.

In particolare, si ritiene indispensabile che tutti i centri iperbarici siano dotati di protocolli di comportamento da adottare in caso di eventuali incidenti; tali protocolli devono tenere conto non solo delle caratteristiche tecniche degli impianti ma anche delle modalità organizzative adottate per la gestione corrente.

Tutti gli operatori, sia medici che non medici, devono essere addestrati ad eseguire le manovre previste nei protocolli attraverso simulazioni di emergenze, periodicamente ripetute, onde evitare che le conseguenze più gravi di una situazione di emergenza derivino da un comportamento inadeguato del personale.

## **5. Modalità di sviluppo, intensità e durata dell'incendio**

### **5.1 Ignizione dell'incendio**

Affinché un incendio possa svilupparsi è necessaria, oltre alla presenza di un combustibile ed un comburente (in generale ossigeno), una fonte di innesco. Le condizioni in cui è stato ritrovato il corpo della signora Pisanò, differenti da quelle di tutte le altre vittime, indica che certamente da qui è partito lo sviluppo dell'incendio. La presenza nelle immediate prossimità dello scaldamani, che di per sé risulta tra tutte le altre possibilità ampiamente la più probabile, consente di concludere con la massima ragionevole certezza che l'incendio si è sviluppato per innesco dello scaldamani che la signora Pisanò portava con sé.

Tuttavia anche in presenza di uno scaldamani, è chiaro che i vestiti della signora non si sarebbero accesi, a meno di un assolutamente irragionevole prolungato e volontario contatto. Per giustificare l'ignizione è necessario ipotizzare che i vestiti siano entrati in contatto con lo scaldamani in presenza di una composizione di comburente fortemente arricchita in ossigeno. È infatti ben noto dalla letteratura che concentrazioni di ossigeno dell'ordine anche solo del 40% rendono combustibili anche materiali che non b sono in aria, e facilitano comunque notevolmente tutti i processi di ignizione rispetto alla loro evoluzione in aria.

Queste considerazioni, peraltro ben confermate dalla letteratura tecnica, sono confermate dalle esperienze svolte dall'Ing. Bardazza, di cui si è preso visione attraverso le videocassette depositate agli atti.

Risulta dunque fondamentale valutare come una tale concentrazione di ossigeno sia stata raggiunta. Consideriamo le considerazioni riportate in sezione 3.1.2. Assumendo un flusso di lavaggio di 1500 l/min ed ipotizzando che tutti i cinque caschi disperdessero completamente l'ossigeno puro in camera, per un totale di 100 l/min, si osserva dalle curve in figura 7 che dopo circa 10 min la concentrazione di ossigeno nella camera non sarebbe potuta crescere al di sopra del 23-24%. Tale risultato è confermato anche dalle simulazioni riportate nella perizia del Prof. Ortolani. In queste condizioni la combustione si sviluppa con modalità del tutto simili a quelle in aria e dunque non si giustifica come l'ignizione si sia potuta verificare.

Occorre però considerare che ai fini dell'ignizione è sufficiente che l'arricchimento di ossigeno si sia verificato solo localmente nella zona in cui si trovavano la signora e lo scaldamani, senza necessariamente coinvolgere la camera nella sua globalità. In quest'ottica appare verosimile che la perdita di ossigeno si sia verificata dal casco della signora Pisanò e che il gas si sia adsorbito sui vestiti della stessa creando una miscela vestiti – ossigeno assai facilmente ignibile. È ragionevole pensare che la fiamma sia inizialmente partita dall'autoignizione dovuta allo scaldamani. Essendo il combustibile presente all'interno di questo in quantità assai modesta, si forma dapprima una piccola fiamma, del tipo di quella mostrata nell'esperimento dell'Ing. Bardazza, dovuta esclusivamente alla interazione dell'ossigeno in fase gassosa con il combustibile all'interno dello scaldamani. Successivamente, ma in tempi che possono variare tra pochi secondi e qualche decina di secondi, in rapporto a dove si trovava lo scaldamani rispetto ai vestiti (più o meno in contatto), la fiamma è passata ai vestiti, che essendo intrisi di ossigeno hanno causato la vampata che ha portato all'immediato decesso della signora Pisanò. Come risulta dall'analisi anatomopatologica, questa non ha infatti avuto il tempo di compiere alcun atto respiratorio all'interno dell'incendio ed il suo corpo riporta ustioni di gravità assai maggiore di quelle riscontrate su tutte le altre vittime. Questa ricostruzione è corroborata anche dalla circostanza che i caschi utilizzati nella camera erano stati modificati, come evidenziato al punto 3.1.1, rendendo particolarmente probabile la perdita di ossigeno.

Concludendo, l'ignizione del processo di combustione si è verificata per la contemporanea presenza di due fattori: la fonte di innesco, costituita dallo scaldamani, e l'arricchimento in ossigeno nella zona circostante la signora Pisanò, dovuto ad una perdita dal collare in lattice del casco la cui tenuta è stata compromessa dalle cerniere aggiunte "artigianalmente" sul collare in lattice del casco stesso.

## **5.2 Sviluppo dell'incendio**

Esaminiamo ora come l'incendio si sia propagato o comunque come il processo si sia sviluppato a seguito della violenta e rapida fiammata precedentemente descritta. È certo che, indipendentemente

dalla concentrazione di ossigeno all'interno della camera, la fiamma non si sia propagata nell'aria (nella fase gassosa) in quanto in questa mancava il combustibile. Esistono due possibilità.

La prima è che la fiamma si sia propagata ad altissima velocità attraverso i vestiti degli altri pazienti, anch'essi intrisi di ossigeno. Tuttavia ciò significherebbe ipotizzare che tutti i caschi perdessero come quello della signora Pisanò. Inoltre alcuni pazienti indossavano erogatori e non caschi; per questi è ovviamente da escludere una significativa perdita di ossigeno a meno di macroscopici difetti, per non citare l'infermiere, che non aveva alcun contatto con l'ossigeno. L'unica possibilità per giustificare una propagazione rapidissima e violenta dell'incendio attraverso i vestiti degli altri pazienti, è, dunque, che l'intera camera si trovasse ad elevata concentrazione di ossigeno. Questa circostanza è però da escludere in quanto, come già precedentemente discusso, anche ammettendo che tutti i possibili ingressi di ossigeno fossero aperti la concentrazione di ossigeno nella camera non avrebbe potuto comunque superare il 24-25%.

La seconda possibilità, che a questo punto appare assai più verosimile, è che dopo la fiammata iniziale il processo sia proseguito come un normale incendio che si sviluppi in usuali condizioni atmosferiche, essendo eventuali arricchimenti in ossigeno comunque troppo esigui per causare una significativa accelerazione della combustione. Hanno invece giocato un ruolo importante la pressione, superiore a quella atmosferica, ed ancora di più il fatto che l'incendio si sia sviluppato in un ambiente chiuso. Le pareti della camera hanno infatti riflesso all'interno il calore irraggiato dalla fiamma che avvolgeva la signora Pisanò e dunque tutto il calore da essa prodotto è rimasto all'interno della camera senza alcuna dispersione verso l'esterno, come avviene normalmente nei forni. Il ridotto volume della camera e l'assenza di qualunque intervento dall'esterno, come ad esempio l'irrorazione con acqua, ha reso devastanti le conseguenze di questo incendio.

Lo scenario che dunque appare più probabile è che dopo la fiammata iniziale il corpo della signora Pisanò abbia continuato a bruciare irraggiando a distanza anche molto ravvicinata gli altri pazienti. A questo punto non vi è più alcun effetto significativo dovuto ad arricchimento di ossigeno e la velocità del processo è simile a quella di un normale incendio in ambiente chiuso. Ciò è confermato dal fatto che gli altri pazienti hanno avuto tempo di ammassarsi sul portellone di uscita, dove sono stati ritrovati i corpi, a differenza di quello della signora Pisanò che è invece stato ritrovato là dove la signora era seduta. Anche in questo senso vanno le risultanze dell'analisi medico-legale, che conclude che tutti i pazienti, ad eccezione della signora Pisanò, hanno compiuto un numero più o meno elevato di atti respiratori durante l'incendio e sono morti con tracce anche rilevanti di ossido di carbonio nei polmoni. I livelli di abbruciamento sono anche diversi per i diversi pazienti, probabilmente a causa del diverso grado di esposizione che essi avevano nei confronti della fiamma. In altri termini a causa delle dimensioni ridotte della camera i corpi di alcuni hanno fatto da schermo ad altri, ritardandone in modo evidente l'abbruciamento. Ciò non è invece compatibile con uno sviluppo velocissimo quasi istantaneo del fenomeno che avrebbe tendenzialmente danneggiato in modo uniforme tutti i pazienti e non dato tempo a nessuno di spostarsi verso il portellone di uscita.

Non è evidentemente possibile sviluppare calcoli o simulazioni dettagliati di un evento così complesso e di cui molti dati sarebbero difficili da valutare in modo accurato. Tuttavia è possibile fare

delle valutazioni approssimative, valide almeno in ordine di grandezza, per dare una sostanza quantitativa alla ricostruzione degli eventi fatta precedentemente.

L'incendio è terminato quando è stato consumato tutto l'ossigeno presente inizialmente nella camera. Ciò è confermato dal fatto che sono stati rinvenuti nella camera oggetti combustibili che non sono bruciati, appunto perché ad un certo punto è finito l'ossigeno.

Considerando il volume della camera pari a  $22 \text{ m}^3$ , la pressione di 2 ata, la temperatura di  $25^\circ\text{C}$  ed una concentrazione di ossigeno del 24%, è facile calcolare che la quantità di ossigeno presente nella camera era di circa 14 kg. Considerando i meccanismi di combustione di solidi, e dunque anche di tessuti, viene valutato in letteratura [D. Drysdale, *An Introduction to fire Dynamics*, John Wiley, 1985 e più specificatamente in S.Y. Hsieh, H.D. Beeson, "Fire and materials", vol. 19, pag. 233-239, 1995] come limite superiore per la velocità di combustione superficiale il valore di  $20 \text{ g/m}^2 \text{ s}$ , che possiamo portare a  $40 \text{ g/m}^2 \text{ s}$  per tenere conto della pressione superiore a quella atmosferica. Si noti che tale valore corrisponde alla velocità di consumo del tessuto e non alla velocità di propagazione superficiale della fiamma, che è certamente assai superiore ed è infatti stata considerata in queste valutazioni addirittura istantanea. Da questo, con riferimento ad una superficie totale di  $2 \text{ m}^2$ , si valuta una velocità di combustione dei vestiti pari a  $80 \text{ g/s}$ . Considerando che 1 kg di vestiti consuma 1 kg di ossigeno per bruciare (più precisamente  $1,2 \text{ kg}$  nel caso di combustione completa del cotone), si ricava una velocità di consumo dell'ossigeno pari a circa  $80 \text{ g/s}$ . Poiché la velocità di combustione è in queste condizioni lineare con la concentrazione di ossigeno e questa, durante il processo, varia dal valore iniziale di 24% fino praticamente a zero, si può considerare come velocità media del processo di combustione il valore di  $40 \text{ g/s}$  di ossigeno. Ciò significa che i 14 kg di ossigeno inizialmente presenti nella camera avrebbero impiegato circa 7 minuti per essere completamente consumati. Poiché, come precedentemente visto, ciò corrisponde a bruciare circa 14 kg di vestiti, che sono ovviamente assai di più di quanti la signora Pisanò indossasse, si conclude che l'incendio sulla signora si concluse quando fu completamente consumato il materiale combustibile ivi presente (non solo i vestiti). Ciò richiede probabilmente un intervallo di tempo dell'ordine di 20 secondi, dopo i quali, pur essendo la fiamma viva estinta, il corpo rimase per tempi più lunghi ad alta temperatura, non essendovi fonti di raffreddamento disponibili, continuando dunque ad irraggiare calore sugli altri corpi. Va anche considerato che la fiamma si è certamente propagata per contatto diretto ad oggetti combustibili vicini, che non sono tuttavia facilmente caratterizzabili. Questi, essendo comunque disponibile ossigeno, sono bruciati contribuendo alla produzione di calore.

Vediamo ora di valutare quale effetto tale calore irraggiato possa avere avuto all'interno della camera. Considerando per il tessuto un calore di combustione pari a  $16 \text{ kJ/g}$  ed utilizzando la velocità di combustione media precedentemente valutata, si giunge ad un valore di  $640 \text{ kW}$ . Pertanto il flusso di calore ad una distanza  $R$  dalla fiamma risulta pari a  $51/R^2 \text{ kW/m}^2$ . Seguendo la procedura sviluppata dal TNO [Methods for the Determination of Possible Damage, CPR 16E, 1989], si stima come valore della dose di radiazione che risulta letale nel 50% dei casi:  $[t \cdot (51000/R^2)] = 10.000.000$ , dove  $t$  rappresenta il tempo di esposizione espresso in secondi. Da qui si calcolano tempi di esposizione pari a: 1 s a 0,5 m; 5 s a 1 m; 33 s a 2 m; 100 s a 3 m. Questi valori si riferiscono a corpi senza alcuna protezione, neanche degli abiti. In realtà almeno alcuni degli occupanti erano parzialmente schermati dalle radiazioni di calore dagli abiti, dai corpi di alcuni degli altri occupanti e da eventuali oggetti presenti. Appare pertanto ragionevole supporre che dopo 1 minuto dall'inizio dell'incendio quattro o

cinque occupanti potessero essere ancora vivi. A maggior ragione ciò vale considerando che la combustione in fiamma viva, come sopra indicato, verosimilmente si è durata circa 20 secondi.

## **6. Possibile influenza dell'impianto antincendio sugli esiti dell'incidente**

Per valutare i possibili effetti della presenza dell'acqua dell'impianto antincendio distinguiamo nuovamente le due fasi: quella della ignizione e quella dello sviluppo dell'incendio.

Normalmente in ambienti chiusi l'ignizione si svolge in due fasi. Inizialmente si forma una piccola fiamma, la quale scalda il combustibile circostante, anche per effetto del calore riflesso dalle pareti, fino a consentire la rapida propagazione della fiamma. Questo fenomeno è osservabile anche nelle esperienze riportate nelle video cassette dell'Ing. Bardazza. Nel caso specifico, essendosi la fiamma verosimilmente propagata attraverso vestiti intrisi di ossigeno, questo processo è stato molto accelerato e forse veramente quasi istantaneo. Inoltre, anche se si fosse sviluppata inizialmente una piccola fiamma, questa potrebbe non essere stata vista dai presenti in tempo utile per spegnere la stessa utilizzando la doccetta (se questa fosse stata presente). Ne consegue che verosimilmente non sarebbe comunque stato possibile salvare la signora Pisanò.

La situazione appare però diversa per la seconda fase del processo. Come precedentemente discusso il processo è stato relativamente lento e la presenza di acqua proveniente dall'impianto di raffreddamento avrebbe certamente contribuito a rimuovere il calore prodotto dall'incendio, che invece ha finito con l'essere irraggiato integralmente sugli altri pazienti. Per valutare se la portata d'acqua che l'impianto di raffreddamento era in grado di produrre fosse sufficiente per evitare eventi mortali, consideriamo alcuni dati presenti in letteratura. In particolare, il codice 53 dell'NFPA (Edizione 1990) riporta, nel capitolo 7 dedicato allo spegnimento di incendi in atmosfere arricchite di ossigeno, che 50 litri al minuto per metro quadrato, erogati per 2 minuti, sono in grado di spegnere un incendio di tessuti in atmosfera di ossigeno puro a pressione atmosferica. I dati relativi alla potenzialità dell'impianto installato nella camera iperbarica, sia in termini di flusso di acqua che di durata dell'erogazione, come riportato in precedenza al punto 3.1.7, indicano che l'impianto era in grado di erogare da un minimo di 40 l/m<sup>2</sup> min per circa 3,5 minuti ad un massimo di 65 l/m<sup>2</sup> min per circa 2,5 minuti. Da ciò è possibile concludere che l'attivazione dell'impianto antincendio avrebbe certamente influito pesantemente sul decorso dell'incendio stesso. Nonostante le condizioni indicate dalla letteratura siano più drastiche (ossigeno puro), a causa delle numerose incertezze relative alla situazione generale all'interno della camera al momento dell'incidente, è difficile concludere che l'incendio avrebbe potuto essere completamente spento. Appare tuttavia estremamente probabile che alcune delle vittime, particolarmente quelle che erano più lontane dal punto di ignizione e schermate almeno parzialmente dalle altre, avrebbero potuto essere salvate.

## 7. Risposte sintetiche ai quesiti

I quesiti posti a questo collegio peritale hanno già trovato ampia e motivata risposta nelle sezioni precedenti di questa consulenza tecnica. Si ritiene però opportuno, per motivi di chiarezza, riportare nel seguito le risposte sintetiche ai quesiti stessi.

1. *Dicano i consulenti qual era la reale situazione della camera iperbarica c.d. “verde” al momento dell’incidente, fornendo una dettagliata descrizione delle condizioni di funzionamento della stessa e quale, a loro giudizio, fosse l’efficacia ed adeguatezza dei presidi di sicurezza e degli apparecchi di cui la stessa risultava dotata.*

Come si evince dalla lettura del capitolo 3, la camera iperbarica c.d. “verde” dell’Istituto Ortopedico Galeazzi era stata progettata e costruita all’inizio degli anni novanta secondo criteri ritenuti, a livello internazionale, sufficienti a consentirne l’uso sicuro. Era quindi dotata di sistemi di controllo, regolazione, prevenzione e protezione adeguati.

Al momento dell’incidente, però, l’impianto antincendio non era funzionante, in quanto il serbatoio che avrebbe dovuto contenere l’acqua da utilizzare per lo spegnimento era vuoto, la bombola di aria compressa propellente aveva il rubinetto chiuso e la valvola del tubo di mandata dell’acqua, posizionata sotto al serbatoio relativo, era chiusa. Inoltre, la doccetta a mano interna alla camera iperbarica, prevista in fase di progetto, non risultava installata. Infine, almeno cinque pazienti sottoposti al trattamento erano dotati di caschi impropriamente modificati, che hanno consentito, in misura maggiore o minore, la fuoriuscita di ossigeno dal collare in lattice degli stessi e conseguentemente l’accumulo del gas negli abiti di chi li indossava.

2. *Dicano i consulenti quali erano le misure di prevenzione tecniche, organizzative e procedurali da adottare alla stregua dei più avanzati criteri di sicurezza concretamente attuabili in strutture consimili a livello sia nazionale sia internazionale.*

Come esposto al punto precedente, le misure tecniche di prevenzione a livello impiantistico possono essere considerate adeguate rispetto allo stato dell’arte all’epoca dei fatti.

Viceversa, le misure di carattere organizzativo e procedurale, trattate in modo esteso nel capitolo 4, ed in particolare quelle relative all’obbligo di informazione e formazione del personale e dei pazienti, quelle relative al controllo dei pazienti stessi al momento dell’ingresso nella camera iperbarica e quelle relative alla manutenzione dell’impianto antincendio, erano inesistenti.

3. *Dicano i consulenti quali, con giudizio di elevata o di maggiore probabilità, siano state le cause dell’incendio verificatosi all’interno della camera iperbarica precisando le modalità di sviluppo, di intensità e di durata dello stesso.*

Alla luce delle considerazioni riportate per esteso nel capitolo 5, la sequenza di eventi che descrive con maggiore probabilità lo sviluppo dell’incendio è la seguente: a) ignizione degli abiti della signora Pisanò attraverso lo scaldamani da lei detenuto; l’ignizione è stata resa possibile dall’intrusione degli abiti della signora da parte dell’ossigeno fuoriuscito dal collare

impropriamente modificato del casco che la stessa indossava; b) vampata sul corpo della signora Pisanò, che ha bruciato con fiamma viva per circa 20 secondi irradiando calore su tutti i presenti e sugli oggetti posti all'interno della camera iperbarica; c) i corpi dei presenti hanno assorbito il calore generato in modo differenziato, a seconda della distanza dalla signora stessa e del livello di schermatura rappresentato prevalentemente dagli altri corpi o dagli oggetti presenti all'interno della camera iperbarica; in assenza dell'intervento dell'impianto di spegnimento, questo processo è durato fino all'apertura della camera iperbarica e gli occupanti più protetti sono sopravvissuti per almeno un minuto.

4. *Dicano i consulenti se la presenza dell'acqua nell'impianto antincendio avrebbe potuto influire sulle cause, lo sviluppo, la diffusione e la durata dell'incendio in questione, evitando il verificarsi degli eventi mortali.*

Il capitolo 6 motiva l'affermazione che il minuto di sopravvivenza minima stimato al punto precedente avrebbe consentito l'attivazione dell'impianto antincendio, che, considerando le potenzialità dell'impianto stesso descritte nella sezione 3.1.7, avrebbe significativamente dilatato i tempi di sopravvivenza rimuovendo calore e spegnendo almeno parzialmente l'incendio. Si ritiene pertanto che l'intervento tempestivo dell'impianto antincendio avrebbe certamente influito sulla durata ed intensità dell'incendio in questione e che conseguentemente almeno alcuni degli occupanti della camera iperbarica avrebbero potuto essere salvati.